This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

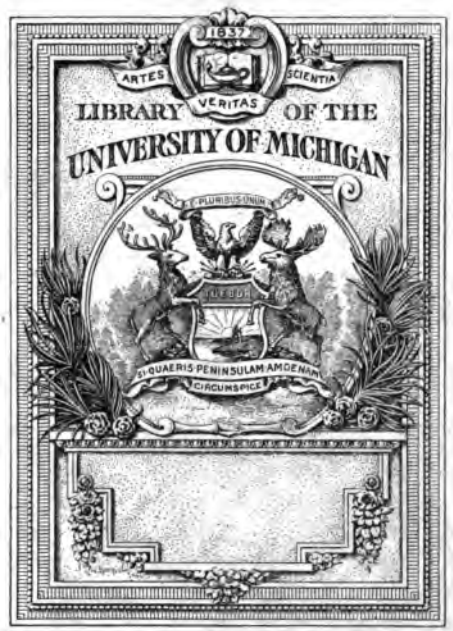
Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

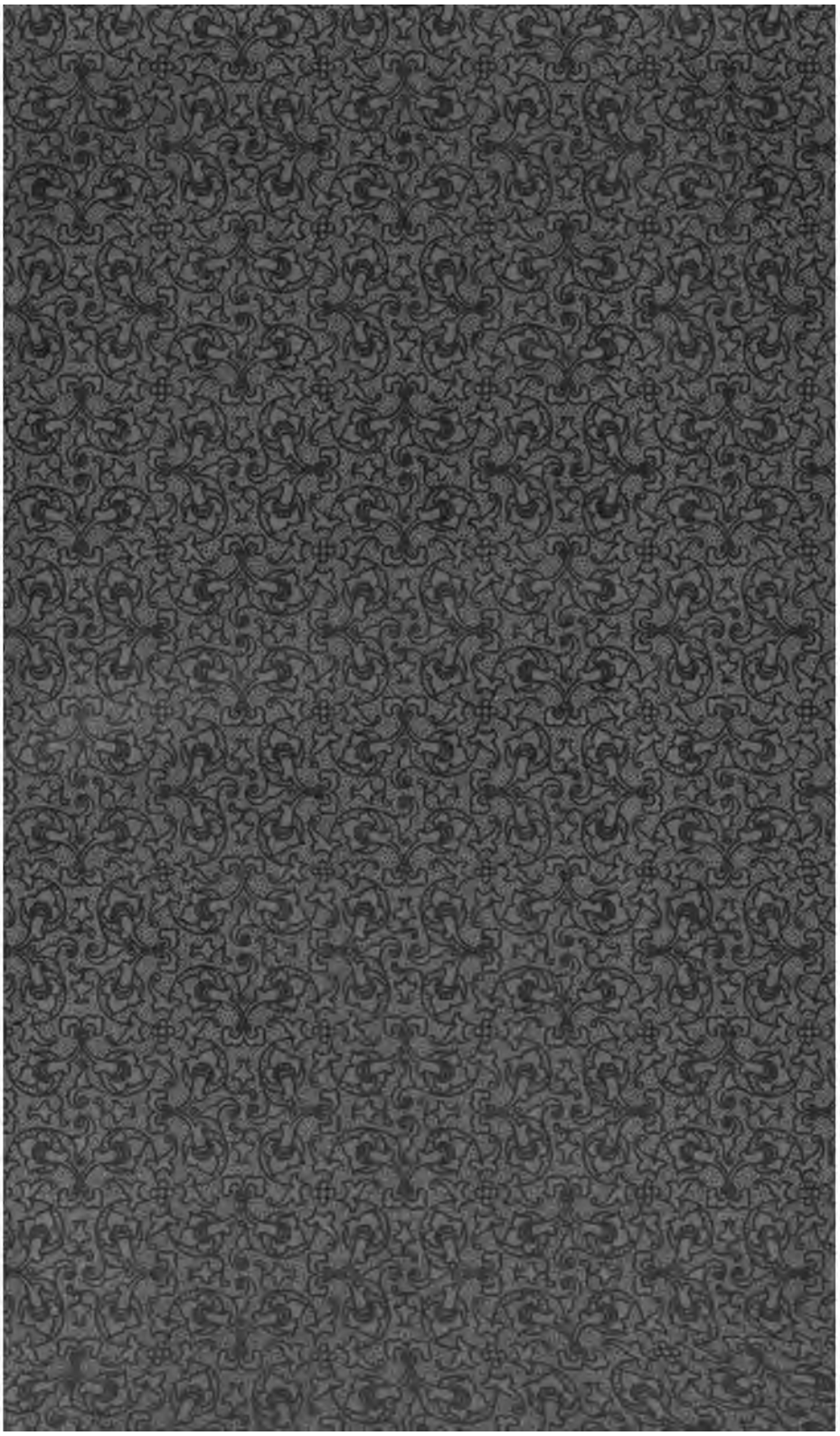
BUHR A
a39015 01803016 6b

Das Reich der Krystalle

von

H. Baumhauer.


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



SCIENCE LIBRARY
QD
905
.B35

DAS

REICH DER KRYSTALLE

FÜR

JEDEN FREUND DER NATUR

INSBESONDERE

FÜR MINERALIENSAMMLER

LEICHTFASSLICH DARGESTELLT

VON

H. BAUMHAUER.

MIT 281, DARUNTER VIELEN NACH DER NATUR GEZEICHNETEN ABBILDUNGEN.

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1889.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten.

VORREDE.

Die vorliegende Schrift wendet sich an den weiteren Kreis derjenigen, welche für naturwissenschaftliche Dinge ein lebhafteres Interesse besitzen. Gar manche sind mit dem Bau und dem Leben der Pflanzen und Tiere im wesentlichen wohlbekannt, auch besitzen sie eine gewisse Kenntnis der wichtigsten Arten derselben. Eine Reihe zum Teil prächtig ausgestatteter und mit naturgetreuen Abbildungen versehener, allgemein verständlicher Werke kommt in dieser Hinsicht dem Bedürfnisse, sich zu belehren, entgegen. Ganz anders verhält es sich in Betreff des Reiches der Krystalle. Die Zahl derjenigen Freunde der Natur, welche die Erscheinungen der Krystallwelt etwas näher kennen, ist eine sehr geringe, und es darf wohl mit Recht behauptet werden, dass die Lehre von den Krystallen bisher kaum in allgemein verständlicher und doch etwas eingehenderer Weise behandelt und dabei nicht nur durch ideale (d. s. mathematisch konstruierte), sondern auch durch nach der Natur aufgenommene Krystallbilder illustriert wurde. Und doch bietet auch das Reich der Krystalle eine Menge höchst interessanter Thatsachen und der Illustration eine Reihe der schönsten Objekte dar. Freilich, einer populären Behandlung im gewöhnlichen Sinne des Wortes setzen die Krystalle manches Hindernis entgegen; es erfordert schon eine gewisse geistige Anstrengung und etwas Vorstellungsgabe, um sich n dieses Gebiet den Weg zu bahnen, allein so schwierig, wie

167487

es häufig dargestellt wird, ist dies nicht, und die Mühe, welche aufgewandt wurde, wird reichlich belohnt durch den Genuss, welchen das Verständnis der Krystalle gewährt. Von solchen Erwägungen ausgehend, hoffte der Verfasser eine Lücke in unserer naturwissenschaftlichen Litteratur auszufüllen, wenn er es unternahm, die Krystallwelt in leichtfasslicher Weise zu behandeln.

Vor allem schien es dem Verfasser erforderlich — sollte es ihm gelingen, in weiteren Kreisen ein lebendiges Interesse für seinen Gegenstand zu erwecken —, außer den notwendigen und in wissenschaftlichen Lehrbüchern fast ausschließlich üblichen idealen Figuren eine nicht zu kleine Anzahl möglichst naturgetreuer, schattiert ausgeführter Abbildungen zu bieten, um zu zeigen, wie die Krystalle in Wirklichkeit erscheinen, und zwar mussten sowohl einzelne, als auch Zwillingskrystalle und ganze Krystallgruppen zur Darstellung kommen. Diese Abbildungen sollen, so weit dies überhaupt möglich ist, die wirklichen Objekte bei der Demonstration ersetzen oder doch das Studium derselben wesentlich erleichtern, indem sie von den abstrakten Gesetzen zur Wirklichkeit überleiten. Sie sollen aber auch, was die üblichen Krystallbilder in dem Maße nicht können, zu eigener Beobachtung anregen und anleiten. Denn solche naturgetreue Zeichnungen bieten Gelegenheit, auf manche interessante Einzelheiten, wie die ungleichmäßige Ausdehnung der Flächen, die Zeichnung, Streifung und Krümmung derselben, die besondere Ausbildungsweise der Krystalle etc. hinzuweisen. So hat denn der Verfasser, was dem Auge des Fachmannes nicht entgehen wird, auf die Anfertigung naturwahrer Abbildungen besondere Mühe verwandt und zu diesem Zwecke mehrere der bedeutendsten Sammlungen benutzt. Bei dieser Gelegenheit sei es ihm gestattet, Sr. Excellenz dem Herrn Staatsminister Dr. von Gossler nochmals seinen ehrerbietigen Dank auszusprechen dafür, dass derselbe es ihm möglich machte, während eines mehrwöchentlichen Urlaubs die Universitätssammlungen zu Bonn, Straßburg und München zu besuchen, um daselbst Beobachtungen zu

machen und Zeichnungen anzufertigen. Auch den Herren Professoren Laspeyres (Bonn), Bücking (Straßburg) und Groth (München) gebührt der verbindlichste Dank des Verfassers für das freundliche Entgegenkommen, welches dieselben ihm bei dieser Gelegenheit gezeigt haben.

Die Art der Darstellung wurde so gewählt, dass eine allmähliche Einführung in das besprochene Gebiet und eine möglichst klare, wenn auch stellenweise etwas breitere Behandlung erreicht wurde. Der Verfasser durfte, um das wirklich Interessante erörtern zu können und ein wahres Verständnis zu ermöglichen, sich nicht auf eine oberflächliche Behandlung seines Gegenstandes beschränken, sondern musste etwas tiefer greifen. Andererseits hofft er, in dieser Hinsicht das richtige Maß eingehalten zu haben; manches, was er noch gern berührt hätte, musste mit Rücksicht auf den Zweck des Buches unerörtert bleiben. Hoffentlich ist es dem Verfasser auch gelungen, eine passende Auswahl unter den krystallisierten Körpern zu treffen, um daran die besprochenen Formen und Gesetze zu veranschaulichen.

Es sei indes bemerkt, dass zur Erlangung eines vollen und tieferen Verständnisses die Benutzung einer, wenn auch nur kleinen Sammlung und einiger Krystallmodelle fast unerlässlich ist. Hierzu kommt noch ein Anlegegoniometer, um an nicht zu kleinen Krystallen die zur Orientierung notwendigen Winkelmessungen zu machen. Nur wenige werden im Stande sein, sich ohne diese Hilfsmittel eine richtige Vorstellung des Geschilderten zu verschaffen. Gerade durch die eigene Beobachtung an den Naturobjekten wird erst unsere Kenntnis — sowohl der Krystallformen und der Ausbildungsweise der Krystalle, als auch des physikalischen Verhaltens, wie der Doppelbrechung, des Dichroismus u. s. w. — eine lebendige, unser wahres geistiges Eigentum. Auch mancher Versuch, wie die Darstellung von Krystallen, die Erzeugung von Ätz- und Schlagfiguren, von künstlichen Kalkspatzwillingen u. a., wird selbst dem Anfänger leicht gelingen und ihm Belehrung und Vergnügen verschaffen. Verfasser wünscht übrigens, dass sein

Buch auch noch für solche von Interesse sei, welche sich schon eingehender mit krystallographischen Dingen beschäftigt haben, namentlich für solche, welchen als Lehrer an einer höheren Schule die Aufgabe obliegt, mineralogischen Unterricht zu ertheilen. Manche derselben sind nicht in der Lage, über eine größere Sammlung verfügen zu können; sie dürften in vorliegender Schrift hier und da eine Figur und eine Notiz finden, welche sich im Unterrichte verwerten lässt.

Es wurde die Naumann'sche Bezeichnungsweise der Krystallformen angewandt, weil es dem Verfasser schien, als eigne sich dieselbe am besten für die erste Einführung in die Krystallographie. Um indes auch mit den Miller'schen Symbolen bekannt zu machen, wurden dieselben in einem Anhange (I) erklärt. Der größeren Bestimmtheit halber wurde bei den Symbolen positiver Formen das Vorzeichen + stets hinzugefügt, mit Ausnahme der hexagonalen Skalenoeder und der Rhomboeder, deren Zeichen sich stellenweise etwas stark häufen.

Herr Professor Groth gestattete, dass eine große Zahl von Konstruktionsfiguren seinem rühmlichst bekannten Werke: »Physikalische Krystallographie, 2. Aufl. Leipzig« entnommen wurde, und Herr Geheimrath Zirkel (Leipzig) hatte die Güte, das als Anhang II beigefügte Verzeichnis der wichtigsten Gesteine einer Durchsicht zu unterziehen. Die verehrliche Verlagshandlung hat ihr Möglichstes gethan, um dem Buche eine hübsche Ausstattung zu geben. Auch für diese Beweise freundlichen Wohlwollens spricht der Verfasser seinen herzlichsten Dank aus. Möge es dem Werkchen gelingen, sich manche Freunde zu erwerben!

Lüdinghausen (Westfalen), im Juli 1889.

H. Baumhauer.

INHALT.

Seite

I. Einleitung. Begriff eines Krystalles. Amorphe Körper. Flächenbeschaffenheit der Krystalle. Einschlüsse in denselben 1
II. Bildung und Wachstum der Krystalle 8
III. Allgemeine krystallographische Verhältnisse. Krystallsysteme. Krystallographische Achsen 16
IV. Die physikalischen Eigenschaften der Krystalle: Spaltbarkeit, Schlagfiguren, Bruch, Härte, Ätzfiguren 25
V. Fortsetzung: Einfache und doppelte Lichtbrechung. Optisch einachsige und zweiachsige Krystalle. Glanz, Farbe, Strich. Verhalten gegen die Wärme 35
VI. Chemie der Krystalle: Elemente und Verbindungen. Atom und Molekül. Wertigkeit. Wichtige Gruppen chemischer Verbindungen 49
VII. Fortsetzung: Heteromorphismus und Isomorphismus. Morphotropie. Pseudomorphosen 60
VIII. Vorkommen der Krystalle. Zusammenvorkommen verschiedenartiger Krystalle 71
IX. Das reguläre Krystallsystem. Die sieben Formen desselben und ihre Kombinationen. Zwillingsbildung 77
X. Flussspat, Steinsalz, Bleiglanz, Kupfer, Silber, Gold, Granat . 91
XI. Die pentagondodekaedrische (pyritoedrische) Hemiedrie. Schwefelkies, Alaun 111
XII. Die tetraedrische Hemiedrie. Fahlerz, Zinkblende, Boracit, Diamant 123
XIII. Die plagiedrische Hemiedrie. Salmiak, Chlorkalium, Rotkupfererz 144
XIV. Tetartoedrie des regulären Systems. Salpetersaurer Baryt. Chlorsaures Natron 151
XV. Das quadratische Krystallsystem. Holoedrische Formen 158
XVI. Vesuvian, Apophyllit, Anatas, Rutil, Zinnstein 166
XVII. Die Hemiedrien des quadratischen Systems. Kupferkies, Scheelit, Gelbbleierz 178
XVIII. Hexagonales Krystallsystem. Holoedrische Formen. Beryll . . . 188
XIX. Die rhomboedrische Hemiedrie. Kalkspat. Erscheinungen an Krystallen im polarisierten Lichte 195

Seite

XX. Korund (Sapphir, Rubin), Eisenglanz, Turmalin. Hemimorphie 215
XXI. Die pyramidale Hemiedrie. Apatit, Mimetesit und Pyromorphit. . 224
XXII. Die trapezoedrische Tetartoedrie. Der Quarz. Circularpolarisation 232
XXIII. Rhombisches Krystallsystem. Schwefel, Schwerspat, Cölestin, Anhydrit. Verhalten rhombischer Krystalle im polarisierten Lichte 252
XXIV. Aragonit, Strontianit, Weißbleierz, Schwefelsaures Kali, Markasit 268
XXV. Topas, Staurolith, Leucit, Kieselzinkerz, Bittersalz 283
XXVI. Monoklines (monosymmetrisches) Krystallsystem. Gyps. Verhalten monokliner Krystalle im polarisierten Lichte 294
XXVII. Orthoklas, Augit, Hornblende, Glimmer 305
XXVIII. Epidot, Harmotom, Rohrzucker 321
XXIX. Triklines (asymmetrisches) Krystallsystem. Kupfervitriol, Albit (Plagioklase), Axinit 330
Anhang I. Die Miller'schen Symbole. Messung der Krystallwinkel. 344
Anhang II. Die wichtigsten Gesteine nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung 352
Register 361

I.

Einleitung. Begriff eines Krystalles. Amorphe Körper. Flächenbeschaffenheit der Krystalle. Einschlüsse in denselben.

Welcher Freund der Natur hätte nicht beim Besuch einer mineralogischen Sammlung bewundernd vor den prächtigen Naturerzeugnissen gestanden, welche wir Krystalle nennen! Die spiegelnden, wie geschliffen erscheinenden Flächen, die Durchsichtigkeit oder die schöne Farbe, der Glanz und die lebhafte Strahlenbrechung derselben haben ihm Ausrufe des Erstaunens entlockt. Und in der That, eine Gruppe wasserheller Bergkrystalle, eine Druse von violetten Amethysten oder selbst die messingfarbigen, metallglänzenden Würfel des Schwefelkieses und die prächtigen Tafeln von Eisenglanz, nicht zu reden von dem hohen Adel unter den Mineralien, den Diamanten, Smaragden, Topasen und Edelmetallen, können wohl den Vergleich aushalten mit dem lieblichen Flor der Blumen oder den bunten Vertretern des Tierreichs.

Allein nicht blos hinsichtlich ihrer Schönheit verdienen die Krystalle die volle Aufmerksamkeit und Würdigung des Naturfreundes wie jedes Gebildeten, einen noch höheren Genuss gewähren sie demjenigen, welcher tiefer in die Wunder der Krystallwelt einzudringen und die Gesetzmäßigkeiten derselben kennen zu lernen sucht. Leider ist indes den meisten Gebildeten, selbst solchen, welche eingehendere Kenntnisse auf dem Gebiete der Zoologie und Botanik besitzen, das Reich der Krystalle, dieser Individuen der anorganischen Natur, ein versiegeltes Buch, dessen Inhalt zu erfahren sie weder große Neigung noch auch den rechten Mut besitzen; sie halten das Studium der Krystalle für ein trockenes,

welches neben seinen Schwierigkeiten wenig Anregung und Freude biete. In einem gewissen Sinne mag dies wahr sein, jedoch nur für denjenigen, welcher bei der Betrachtung der Krystalle vollständig an der Oberfläche bleibt und nicht bis zu den gegenseitigen Beziehungen der zahlreichen Formen und den höchst interessanten Gesetzen, welche den Aufbau so mancher Krystallgruppe beherrschen, vordringt. Großes Interesse gewähren auch die physikalischen Eigenschaften der Krystalle, sowie die Beziehungen, welche sich zwischen der chemischen Zusammensetzung und der äußeren Form derselben ergeben haben.

Allen denen nun, welche gewillt sind, sich eine genauere und den denkenden Geist befriedigende Kenntnis dieses Gebietes zu erwerben, wünscht die vorliegende Schrift als Führer zu dienen.

Fig. 1.

Zunächst werden wir die Frage zu beantworten haben, was ein Krystall sei, d. h. welche Eigenschaften zu dessen Wesen gehören. Bei der Betrachtung eines Krystalles fällt uns vor allen Dingen auf, dass derselbe von ebenen Flächen begrenzt wird. Diese Flächen schneiden sich in geradlinigen Kanten; die Kanten treffen in Ecken zusammen. Wären wir in der Lage, an mehreren Krystallen desselben Minerals Messungen hinsichtlich der Größe der von je zwei Flächen gebildeten Winkel anzustellen, so würden wir finden, dass diese Winkel bestimmte, bei verschiedenen Krystallen des betreffenden Minerals wiederkehrende Werte besitzen. Demnach werden wir die Krystalle als solche anorganische Naturprodukte zu bezeichnen haben, welche von ebenen Flächen begrenzt werden, die sich unter gewissen, für das betreffende Mineral charakteristischen Winkeln schneiden. Als Beispiel möge die zierliche, in Fig. 1 wiedergegebene Gruppe von Quarzkrystallen dienen. Doch sei hier gleich bemerkt, dass nicht nur die Mehrzahl der die Erdrinde zusammensetzenden Stoffe, der Mineralien, sondern überhaupt die meisten festen Substanzen, auch wenn sie erst unter Beihilfe menschlicher Thätigkeit, etwa im

Laboratorium des Chemikers, entstanden sind, die Fähigkeit besitzen, Krystallgestalt anzunehmen. Mag nun aber der Stoff, aus welchem die Krystalle bestehen, einer Herkunft sein, welcher er will, stets ist die Form, welche seine Krystalle zeigen, für ihn charakteristisch, und es besteht demnach bei allen Krystallen eine innige und gesetzmäßige Beziehung zwischen Form und Inhalt. Hieraus folgt auch, was wohl kaum mehr der Erwähnung bedarf, dass ein Körper etwa von Glas oder Metall, dem man künstlich, z. B. durch Anschleifen, die Form eines Krystalles gegeben hat, nichts mit einem wirklichen Krystalle gemein hat, da eine solche Form weder das Erzeugnis der Natur ist, noch in irgend einer gesetzmäßigen Beziehung zu der von ihr begrenzten Substanz steht.

Bekanntlich ist der Körper der Pflanzen und Tiere aus einfachsten Organen, den Zellen, aufgebaut, welche bei mikroskopischer Betrachtung leicht zu erkennen sind. Untersucht man hingegen einen Krystall, wenn auch bei noch so starker Vergrößerung, unter dem Mikroskop, so findet man keine Spur solcher oder ähnlicher Elementarorgane; der Krystall ist durch seine ganze Masse hindurch homogen, d. h. gleichartig. Man kann also nicht von Krystallteilen sprechen, aus denen der ganze Krystall, ähnlich wie eine Pflanze aus den Zellen, aufgebaut wäre. Wenn man von einer Verschiedenheit innerhalb der Masse des Krystalles reden will, so kann sich dies nur auf die von einander abweichenden Richtungen innerhalb derselben beziehen. Ohne dass wir hier schon des näheren auf diesen Punkt eingehen wollen, sei doch beispielsweise erwähnt, dass die Geschwindigkeit, mit welcher sich Licht und Wärme innerhalb eines Krystalles fortpflanzen, mit der Richtung sehr wechseln kann, dass auch die Härte eines Krystalles, auf verschiedenen Flächen oder in verschiedenen Richtungen auf derselben Fläche geprüft, sich deutlich ungleich erweisen kann, kurz, dass das physikalische Verhalten eines Krystalles von der Richtung abhängig ist. Diese Thatsache hat neben anderen darauf geführt, die Krystalle gleichsam als regelmäßige Bauwerke aufzufassen, deren Bausteine die kleinsten Teilchen der betreffenden Substanz sind, welche man auch Massenteilchen oder Moleküle nennt. Freilich kann man die einzelnen Moleküle nicht sehen, auch das beste Mikroskop ist nicht im stande, sie uns zu zeigen, allein, will man das physikalische Verhalten der Krystalle genügend erklären, so muss man zu der obigen Annahme seine Zuflucht nehmen und in einem

Krystalle eine Gruppe parallel gelagerter Moleküle erblicken. Diese Annahme führt uns nun auch dazu, eine andere Art von Körpern kurz zu erwähnen; es sind dies die sogenannten amorphen Substanzen, welche gleichfalls fest sind, aber im Gegensatz zu den krystallisierten, d. h. in Krystallen auftretenden, niemals Krystallform zeigen. Ein solcher Körper ist z. B. das Glas. Dasselbe erscheint nie in Krystallen und lässt auch innerhalb seiner Masse keinerlei Richtungsunterschiede bezüglich des physikalischen Verhaltens erkennen. Unter den Mineralien sind die amorphen im Verhältnis zu den krystallisierten wenig zahlreich; es gehören dazu z. B. der Opal, der Bernstein, die Steinkohle. Während man nun bei den Krystallen eine regelmäßige, parallele Anordnung der Moleküle voraussetzt, erklärt man den amorphen Zustand eines Körpers dadurch, dass man annimmt, die Moleküle seien in demselben ganz regellos gelagert. Daher kommt es, dass sich innerhalb desselben keine verschiedenen, d. h. physikalisch von einander abweichenden Richtungen unterscheiden lassen.

Fassen wir das Ergebnis obiger Betrachtung über das Wesen der Krystalle zusammen, so gelangen wir zu folgender Definition: Ein Krystall ist ein anorganischer Naturkörper, welcher von ebenen Flächen begrenzt wird, die sich unter bestimmten, für den betreffenden Stoff charakteristischen Winkeln schneiden, und welcher durch seine ganze Masse hindurch aus gleichartiger (homogener) Substanz besteht.

Die hier aufgestellte Begriffsbestimmung entspricht dem Wesen eines Krystalles. Dennoch stoßen wir bei genauerer Beobachtung der mannigfaltigen, hierhin gehörigen Naturkörper gar bald auf gewisse Erscheinungen, welche mit unserer Definition im Widerspruch zu stehen scheinen. Dieselben lassen sich jedoch, wie wir bald sehen werden, zum Teil leicht obiger Bestimmung unterordnen, teils sind sie als eine Folge abnormer Verhältnisse zu betrachten. Solche Abnormitäten kommen ja in jedem Naturreiche vor, ohne dass dadurch die im allgemeinen herrschende Gesetzmäßigkeit aufgehoben würde.

Zunächst sieht man häufig, dass die Flächen, welche die Krystalle begrenzen, nicht absolut eben, sondern geradlinig gestreift oder mit eigentümlichen Zeichnungen bedeckt sind. Die Streifen erweisen sich als parallele Rinnen, in Wirklichkeit werden sie von schmalen Teilen verschieden gerichteter Krystallflächen, welche

mit einander abwechseln, gebildet. Sie verlaufen deshalb nicht in willkürlicher Richtung, sondern gehen gewissen Kanten des Krystalles parallel. Demnach haben wir es hier nur gewissermaßen mit unvollständig entwickelten Flächen zu thun, deren Vorhandensein in keiner Weise dem Wesen der Krystalle widerspricht. Als ein Beispiel sei der nebenstehende Würfel von Schwefelkies angeführt (Fig. 2). Die Flächen desselben tragen eine Streifung, welche jedesmal einer Kante des Würfels parallel geht, und wir finden eine weitere Gesetzmäßigkeit darin, dass von drei zu einer Ecke zusammenstoßenden Flächen jede nach einer anderen Richtung gestreift ist.

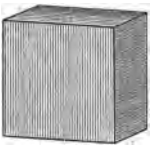


Fig. 2.

Nicht selten kommt es auch vor, dass eine Krystallfläche in mehrere Felder zerfällt, von denen jedes nach einer anderen Richtung gestreift ist.

Was die auf manchen Krystallflächen erscheinenden Zeichnungen angeht, so bestehen sie meist darin, dass auf gewissen Teilen der Flächen sich sehr stumpfe pyramidenförmige Erhöhungen zeigen, welche drei-, vier- oder mehrseitig sind und von Flächen begrenzt werden, die in ihrer Lage nur wenig von der die Erhöhungen tragenden Krystallfläche abweichen. Letztere erscheint dadurch eigentümlich getäfelt. Die Erhöhungen sind oft parallel der sie tragenden Fläche abgestumpft. Sie deuten gewissermaßen Krystallflächen an, welche nicht zur Entwickelung gelangen konnten, und lassen eine gesetzmäßige Beziehung zu der ganzen Formbildung des Krystalles erkennen. Ihr Vorhandensein steht in keinem Widerspruch zu dem Wesen eines Krystalles. Anderseits ist zu bemerken, dass die Zeichnung ebenso wie die Streifung der Krystallflächen nur gleichsam als zufällige Bildungen zu betrachten sind, welche nicht notwendig auf den betreffenden Flächen aufzutreten brauchen. Fig. 3 zeigt einen Vesuviankrystall, dessen Flächen meist eine zierliche und komplizierte Zeichnung aufweisen, indem sie zahlreiche, zuweilen treppenförmig aufsteigende Erhöhungen tragen.

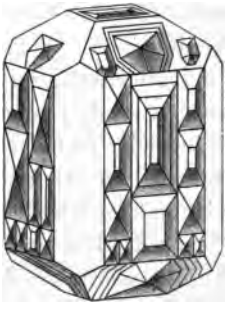


Fig. 3.

Mit Abnormitäten haben wir es in den nicht seltenen Fällen zu thun, in welchen gewisse Flächen eines Krystalles gekrümmt

erscheinen oder gar der ganze Krystall gerundet, verdrückt oder gebogen ist. Diese oft seltsamen Bildungen beruhen manchmal auf einem ungleichmäßigen Wachstum des Krystalles, manchmal auch darauf, dass die denselben zusammensetzenden Moleküle oder größeren Teile unter einander mehr oder weniger von der parallelen Lage abweichen. Oft besteht eine gekrümmte Fläche aus zahlreichen kleinen Facetten, von welchen die unmittelbar benachbarten immer nur wenig in ihrer Lage von einander verschieden sind. Jedenfalls waren bei der Bildung derartiger Krystalle störende Einflüsse wirksam, welche eine vollkommene Gestaltung derselben verhinderten. In manchen Fällen ist jedoch die Biegung oder Knickung ganzer Krystalle unzweifelhaft auf einen von außen wirkenden mechanischen Druck zurückzuführen, welcher erst thätig wurde, nachdem die betreffenden Krystalle fertig gebildet waren. Krystalle von linsenförmiger Gestalt findet man z. B. beim Gyps. Anderseits beobachtet man stellenweise große säulenförmige Krystalle desselben Minerals, welche die Dicke eines Armes erreichen und dabei, als hätten sie ursprünglich aus einer weichen Masse bestanden, knieförmig hin- und hergebogen sind.

Eine andere Thatsache, welche mit unserer Definition eines Krystalles im Widerspruch zu stehen scheint, ist die, dass die Krystalle vieler, ja fast aller Mineralien, auch wenn sie noch so rein und gleichartig zu sein scheinen, in Wirklichkeit nicht absolut homogen sind, sondern bei mikroskopischer Betrachtung einzelne oder zahlreiche fremdartige eingeschlossene Körperchen aufweisen. Diese Einschlüsse können außerordentlich winzig sein, sie können auch ziemlich ansehnlich werden, ja nicht selten ist ihre Größe so bedeutend, dass man sie schon mit bloßem Auge wahrnimmt. Es giebt gasförmige, flüssige und feste Einschlüsse in den verschiedenen Krystallen, und die festen können sowohl selbst wieder Krystalle als auch amorphe Körperchen, wie Glaspartikel, sein. Nebenstehende Figuren (4 u. 5) zeigen eine dünne Platte von Flussspat und eine solche von Leucit (beide in 100facher Vergrößerung). Die erstere ist von rundlich-länglichen, schlauchförmigen Hohlräumen durchzogen, welche fast vollständig mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, in der eine Gasblase sichtbar ist. Beim Wachsen der Flussspatkrystalle, welche sich, allmählich größer werdend, aus einer wässrigen Lösung abschieden, wurden Teile der Lösung und Luft zufällig mit eingeschlossen. Mannigfaltiger sind die Einschlüsse, welche die

Leucitplatte beherbergt. Wir sehen bei *a* mehr oder weniger regelmäßig begrenzte Klümpchen einer körnigen Masse, welche aus der Substanz des Gesteins besteht, worin sich die Leucitkrystalle vorfinden. Letztere haben sich nämlich aus geschmolzener Lava ausgeschieden und dabei Teile derselben umschlossen, ähnlich wie die Flussspatkrystalle Teile der Lösung aufnahmen, aus welcher sie auskrystallisierten. Neben dieser Gesteinsmasse finden wir in dem Leucit aber auch noch andere Körper: nadelförmige lichte bis

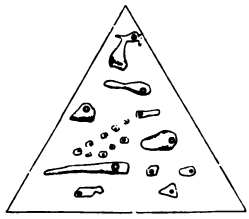


Fig. 4.

Fig. 5.

dunkelgrüne Krystalle (*b*) eines anderen Minerals, welche alsbald nach ihrer Entstehung von der Leucitsubstanz umhüllt wurden, sowie Tropfen eines erstarrten Glases (*c*), welche gleichfalls darauf hindeuten, dass die Bildung des Leucits bei sehr hoher Temperatur stattfand.

Aus dem Gesagten geht schon hervor, dass derartige Einschlüsse zufälligen Umständen ihre Existenz verdanken, dass sie keineswegs zum Wesen der Krystalle gehören und demnach auch in keinem Widerspruch zur Homogenität der Krystallsubstanz stehen. Sie können größer oder kleiner, zahlreich oder selten sein, der Krystall bleibt dadurch als solcher unverändert. Die Einschlüsse sind eine Abnormität ebenso gut wie die gekrümmten Flächen und die verbogenen Krystalle. Eine große Bedeutung erlangen sie jedoch dadurch, dass sie mancherlei Fingerzeige geben über die Art und Weise, wie der betreffende Krystall entstanden ist, sowie darüber, in welcher Umgebung er sich gebildet hat.

II.

Bildung und Wachstum der Krystalle.

Nachdem wir in unserer Eingangsbetrachtung das Wesen der Krystalle kennen gelernt, uns auch eine Vorstellung über ihren Aufbau aus kleinsten Massenteilchen oder Molekülen gebildet haben, wenden wir uns nun zu der wichtigen Frage nach der Art der Entstehung und der sich daran anknüpfenden nach dem Wachstum der Krystalle. Da die Krystalle ein starres System regelmäßig angeordneter Moleküle darstellen, so lässt sich erwarten, dass sie in der Weise sich bilden, dass die in freierer Bewegung befindlichen Massenteilchen in einen Zustand größerer Gebundenheit übergehen und dass die Bildung vollkommnerer Krystalle um so eher stattfinden wird, je langsamer jener Übergang sich vollzieht und je mehr den Molekülen Raum gelassen ist, damit dieselben sich in regelmäßiger Anordnung vereinigen können. Günstig für die Bildung von Krystallen wird also zunächst der Übergang einer Substanz aus dem gas- oder dampfförmigen Zustande in den festen, beziehungsweise derjenige einer Flüssigkeit in einen festen Körper sein.

Einige Beispiele werden uns dies leicht klar machen.

1. Das Jod, ein nichtmetallisches Element (d. i. ein chemisch einfacher Stoff), hat die Eigenschaft, schon bei gelindem Erwärmen sich in ein violettes Gas zu verwandeln. Erhitzt man etwas Jod in einem Reagiercylinder (Probierröhrchen), so bemerkt man sofort, wie sich der Cylinder mit den Joddämpfen füllt, wie aber auch die kälteren Teile des Cylinders, welche weiter von der Flamme entfernt liegen, sich mit kleinen glänzenden Krystallblättchen be-

kleiden. Die Dämpfe verdichten sich bei Berührung mit den kaltgebliebenen Wänden des Cylinders und die Moleküle des Jods gruppieren sich dabei in regelmäßiger Weise zu Krystallen, welche anfangs sehr klein, allmählich wachsen, indem sich stets neue Teilchen in paralleler Stellung anlagern. Einen derartigen Vorgang — Überführung eines festen Körpers in Dampf und Wiederverdichtung des Dampfes durch Abkühlung — nennt man eine Sublimation. Mit Hilfe der Sublimation kann man in zahlreichen Fällen künstlich Krystalle einer Substanz erhalten, und in der Natur, namentlich in oder bei Vulkanen, ist die Sublimation nicht selten die Ursache der Krystallbildung gewesen.

Häufig entstehen auch Krystalle dadurch, dass zwei verschiedene Gase oder Dämpfe so chemisch auf einander einwirken, dass ein neuer, weniger flüchtiger Körper entsteht, welcher deshalb feste Form annimmt. Einen solchen Vorgang kann man aber nicht mehr als Sublimation im eigentlichen Sinne des Wortes bezeichnen. Auf der Lava oder in Spalten derselben findet man tafelförmige Krystalle von Eisenglanz, welche ihre Entstehung der gegenseitigen Einwirkung der Dämpfe von Wasser und Eisenchlorid verdanken.

2. Auch bei dem Übergange aus dem flüssigen, geschmolzenen in den festen Zustand nimmt eine Substanz gern Krystallform an. Erhitzt man z. B. Schwefel in einem Tiegel, so bemerkt man, dass derselbe bei 112° C. schmilzt und sich in eine gelbe bis braune Flüssigkeit verwandelt. Lässt man nun den Inhalt des Tiegels so weit erkalten, bis sich an der Oberfläche eine feste, nicht zu dünne Kruste gebildet hat, durchstößt diese Kruste und lässt den noch flüssigen Schwefel ausfließen, so sieht man, wie der entstandene Hohlraum eine Menge von nadelförmigen, glänzenden Krystallen zeigt. Diese Nadeln sind von den Wänden des Tiegels ausgegangen und haben sich durch Ansatz weiterer in den festen Zustand übergehender Substanz vergrößert. Hätte man den übrigen, noch flüssigen Schwefel nicht durch Ausgießen entfernt, so wäre schließlich ein starrer Klumpen aufs innigste verwachsener und einander durchdringender, unvollkommen entwickelter Nadeln und Fasern entstanden.

Während man eine Substanz im eigentlichen Sinne des Wortes als krystallisiert bezeichnet, wenn die einzelnen Krystalle Raum gefunden haben, um sich mehr oder weniger vollkommen auszubilden, nennt man einen Körper krystallinisch, wenn die ein-

zelnen Krystalle wegen beschränkten Raumes auf einer niedrigen Stufe der Entwicklung stehen bleiben mussten, sich bei der Bildung resp. dem weiteren Wachstum gegenseitig hemmten, so dass schließlich nur ein Aggregat kleiner und unvollkommener Individuen hervorging. Ein gutes Beispiel für diese beiden verschiedenen Zustände liefert auch der Rohrzucker. Während der sog. Kandis aus einzelnen durch langsames und freies Wachstum entstandenen größeren und klaren Krystallen besteht, sehen wir im Melis ein Aggregat unzähliger, kleiner und dicht zusammengedrängter, deshalb in der Ausbildung der äußeren Form zurückgebliebener Kryställchen: Kandis ist krystallisiert, Melis krystallinisch. Der Schwefel sowohl wie der Rohrzucker liefern uns aber auch noch vortreffliche Beispiele für einen Zustand, welchen wir schon im ersten Kapitel erwähnten. Wir sagten, dass im Gegensatz zur regelmäßigen Anordnung der Molekule die unregelmäßige stehe, und dass man Körper, deren Massenteilchen in solch unregelmäßiger Anordnung sich befänden, amorph nenne. Der amorphe Zustand einer Substanz wird nun am leichtesten dadurch erhalten, dass man dieselbe so rasch aus dem geschmolzen-flüssigen in den festen Zustand überführt, dass die Molekule keine Zeit finden, sich zu regelmäßigen Gruppen anzuordnen. Gießt man geschmolzenen und etwa bis auf 240° C. erhitzten Schwefel plötzlich in kaltes Wasser, so erhält man einen zähen, bildsamen Körper, welcher keine Spur von Kystallisation verrät. Lässt man geschmolzenen Zucker rasch erstarren, so erhält man den sog. Gerstenzucker, welcher gleichfalls durchaus amorph ist. Auch das Glas ist ein amorpher Körper, und es kommen in der Natur Mineralien vor, welche, wie z. B. der Obsidian, amorph sind und sich in ganz ähnlicher Weise wie das Glas durch Erstarren geschmolzener Massen gebildet haben. Häufig wandelt sich jedoch eine solche ursprünglich amorphe Masse allmählich von selbst in eine krystallinische, also in ein Aggregat kleiner und unvollkommener Krystalle um. Der plastische amorphe Schwefel ist schon am folgenden Tage spröde und krystallinisch geworden, und der Gerstenzucker wie die bekannten Bonbons gehen nach einiger Zeit in eine faserig-bröckliche krystallinische Masse über; man sagt, der Zucker kandiere.

Ebenso wie die gegenseitige Einwirkung zweier Gase oder Dämpfe die Veranlassung zur Bildung von Krystallen werden kann,

ist es auch möglich, dass erst durch die Mischung von zwei oder mehreren geschmolzenen Substanzen ein neuer Körper sich bildet, welcher, da er weniger leicht schmilzt, sich in fester Form ausscheidet und dabei Krystallgestalt annimmt. So kann man z. B. künstlich Krystalle von Schwerspat, d. i. schwefelsaurem Baryt erhalten, indem man Chlorbaryum und schwefelsaures Kali zusammenschmilzt. Die beiden genannten Verbindungen setzen sich nämlich um in schwefelsauren Baryt und Chlorkalium. Ersterer scheidet sich in Krystallen aus.

Die Bildung von Krystallen aus geschmolzenen Massen, meist Gemischen verschiedenartiger Substanzen, spielt in der Natur eine wichtige Rolle. Doch gehören die meisten derartigen Bildungen einer weit hinter uns liegenden Periode an. Die Feldspatkrystalle der Trachyte, welche ringsum ausgebildet im Gestein stecken, haben sich einst aus der ursprünglich feurigflüssigen Masse ausgeschieden, aber noch in der Gegenwart kann man beobachten, wie in den fließenden Laven des Vesuv zahllose aus derselben auskrystallisierte Leucite schwimmen.

3. Eine dritte Art, auf welche die Bildung von Krystallen stattfinden kann, ist die Ausscheidung der krystallisierenden Substanz aus ihrer Auflösung in einer Flüssigkeit. Als Beispiel möge die künstliche Darstellung von Salpeterkrystallen dienen. Löst man in Wasser von gewöhnlicher Temperatur Salpeter auf, so wird man finden, dass nach Aufnahme einer gewissen Menge des Salzes die Flüssigkeit aufhört, lösend zu wirken; man nennt die Lösung dann eine gesättigte. Erwärmt man nun die Flüssigkeit, so erlangt dieselbe die Fähigkeit, wieder neue Mengen Salpeter aufzunehmen, wie denn überhaupt eine Flüssigkeit von einem festen Körper, welcher darin löslich ist, bei höherer Temperatur mehr, oft bedeutend mehr zu lösen vermag, als bei niedriger Temperatur. Daraus folgt aber auch, dass eine bei höherer Temperatur gesättigte Lösung bei der Abkühlung den nun zu viel vorhandenen Körper wieder ausscheiden muss, wenn sie für die niedrigere Temperatur wieder eine normal gesättigte sein soll. Gießt man die warm gesättigte Salpeterlösung in ein Becherglas und lässt sie darin möglichst langsam erkalten, so bemerkt man nach einiger Zeit prachtvolle säulenförmige Krystalle, welche vom Boden des Gefäßes ausgehend nach verschiedenen Richtungen in die Flüssigkeit hineinragen. Die allmählich mit der sinkenden Temperatur sich

ausscheidenden Molekule haben Zeit gefunden, um sich zu schöngebildeten Krystallen zu gruppieren.

Allein auch noch auf andere Weise kann die Bildung von Krystallen aus einer Lösung vor sich gehen. Bleibt auch die Temperatur unverändert, so wird doch durch die an der Oberfläche der Flüssigkeit stattfindende Verdunstung die Menge derselben im Verhältnis zu der Menge des gelösten festen Körpers beständig abnehmen. Daher muss allmählich eine mehr und mehr wachsende Menge des letzteren, welche nicht mehr in Lösung bleiben kann, ausgeschieden werden, und dies geschieht in der Regel wiederum so, dass sich Krystalle bilden. Je langsamer und gleichmäßiger die Verdunstung stattfindet, um so regelmäßiger und vollkommener werden auch die sich bildenden Krystalle sein.

Sowohl der Wechsel der Temperatur als auch die Verdunstung des Wassers bewirken die Ausscheidung von einzelnen Krystallen oder von krystallinischen Massen aus den Salzseen, z. B. dem Eltonsee an der unteren Wolga, den Boraxseen in Tibet und Californien, den Natronseen in Aegypten, Westarmenien und Mexiko. Diese Seen liefern Steinsalz, Gyps, Soda, Glaubersalz, Borax u. a. teilweise in großen Krystallen. Auch die häufig so mächtigen Steinsalzlager sind Niederschläge ausgetrockneter Seen.

Für die Bildung von Krystallen aus wässriger Lösung ist in manchen Fällen die Thatsache von großer Bedeutung, dass gewisse Stoffe, wenn sie in Wasser gelöst sind, durch ihre Gegenwart die Auflösung anderer Substanzen, welche in reinem Wasser gar nicht oder nur spurenweise löslich sind, ermöglichen oder wesentlich befördern.

Der kohlensaure Kalk, welcher uns in der Natur als Kalkspat oder Aragonit in den schönsten Krystallen entgegentritt, ist in reinem Wasser so gut wie unlöslich, er löst sich aber in Wasser, welches Kohlensäuregas gelöst enthält. Das im Boden resp. in den oberen Erdschichten cirkulierende Wasser ist nun stets kohlensäurehaltig, oft sogar sehr reich an Kohlensäure, und besitzt sonach die Fähigkeit, bedeutende Mengen von kohlensaurem Kalk aufzulösen. Tritt eine solche Lösung aber an die Oberfläche der Erde oder gelangt sie in offene Spalten oder Höhlungen, so verflüchtigt sich ein großer Teil der gelösten Kohlensäure, auch verdunstet ein Teil des Lösungswassers; infolge dessen scheidet sich der aufgelöste kohlensaure Kalk in fester Form wieder aus. So entstehen wohl deut-

liche einzelne Krystalle von kohlensaurem Kalk (Kalkspat), oder es bilden sich krystallinische Massen, wie wir sie, oft phantastisch gestaltet, in den zapfen-, säulen- oder schleierförmigen Gebilden der bekannten Tropfsteinhöhlen bewundern.

Damit sich aus einer Lösung Krystalle abscheiden können, ist jedoch nicht immer erforderlich, dass die Substanz, woraus sie bestehen, von vornherein schon fertig gebildet in der betreffenden Lösung enthalten sei. Dann muss aber noch ein anderer Stoff hinzutreten, durch dessen chemische Einwirkung auf den in der Lösung enthaltenen Stoff eine neue Substanz entsteht, welche sich wegen ihrer Unlöslichkeit oder Schwerlöslichkeit in Form von Krystallen ausscheidet. Folgende Beobachtung lehrt uns einen solchen Fall kennen. Der allgemein bekannte gelöschte Kalk besitzt die Fähigkeit, sich, wenn auch in verhältnismäßig geringer Menge, in Wasser klar aufzulösen. Eine solche Lösung nennt man Kalkwasser. Gießt man Kalkwasser in ein weites Glas und setzt es einige Zeit der Luft aus, so überzieht sich die Flüssigkeit mit einer weißen Haut. Diese Haut besteht aus kohlensaurem Kalk, welcher dadurch entstanden ist, dass die stets in der Luft in geringer Menge enthaltene Kohlensäure mit dem im Kalkwasser vorhandenen Kalk in Verbindung trat. Bringt man nun ein wenig von der erwähnten zarten Haut unter das Mikroskop, so bemerkt man, dass dieselbe aus zahllosen kleinen durchsichtigen Krystallen (von Kalkspat) zusammengesetzt ist.

Sehr häufig wird auch eine Krystallbildung dadurch veranlasst, dass zwei Lösungen zusammentreffen, welche verschiedene Substanzen enthalten. Die beiden gelösten Stoffe wirken dann chemisch auf einander ein und es entsteht ein unlöslicher oder schwerlöslicher Körper, welcher sich ausscheidet und dabei um so größere Krystalle bildet, je langsamer und gleichmäßiger diese Ausscheidung vor sich geht. Ein Beispiel eines derartigen Vorganges zeigt uns folgender Versuch. Man stelle sich eine konzentrierte, infolge dessen specifisch schwere Lösung von salpetersaurem Kalk und eine zweite weniger konzentrierte, leichtere Lösung von schwefelsaurem Kali in Wasser dar. Nun gieße man erstere in einen Glascylinder und auf dieselbe vorsichtig, damit die Flüssigkeiten sich nicht gleich vermischen, die zweite Lösung. Man sieht jetzt, wie von der Berührungsfläche der beiden Lösungen aus eine weiße Trübung eintritt; fortwährend fällt von derselben ein flockiges Pulver auf den Boden des Gefäßes. Sieht man durch eine Lupe in die getrübte

Flüssigkeit, so nimmt man wahr, dass der sich ausscheidende feste Körper aus zahllosen feinen Krystallnadeln besteht. Es bilden sich nämlich durch die Einwirkung des schwefelsauren Kalis auf den salpetersauren Kalk Krystalle von schwerlöslichem schwefelsaurem Kalk (Gyps), während gleichzeitig entstehendes salpetersaures Kali in dem Wasser gelöst bleibt. Stellt man den Cylinder an einen ruhigen Ort, so schreitet die Gypsbildung langsam fort und man bemerkt nach einiger Zeit an den Wänden des Gefäßes zierliche Büschel von nadelförmigen, schon ziemlich großen Gypskryställchen.

Hat sich irgendwo ein kleiner Krystall gebildet, so wächst derselbe in der Weise, dass sich von außen weitere Substanz gleicher Art bei paralleler Stellung der Moleküle anlagert. Doch ist zu bemerken, dass eine Vergrößerung eines Krystalles nicht gleichbedeutend ist mit vollkommenerer Ausbildung desselben; noch weniger giebt es ähnlich wie bei den Pflanzen und Tieren ein gewisses Maß der Größe, welches ein Krystall erreichen und nicht überschreiten könnte. Eine Entwickelung wie bei den Individuen der belebten Natur geht den Krystallen gänzlich ab. Die kleinsten Krystalle können hinsichtlich der Glätte der Flächen und der Schärfe der Kanten, also hinsichtlich der tadellosen Ausbildung ihrer Form ebenso vollkommen sein wie die größten, ja häufig werden in Bezug hierauf die großen Krystalle von den kleineren übertroffen.

Pflanzen und Tiere wachsen dadurch, dass sie Stoffe aufnehmen, welche erst nach einer mehr oder weniger tiefgreifenden Umwandlung im Innern derselben (Assimilation bei den Pflanzen, Verdauung bei den Tieren) dem pflanzlichen oder tierischen Organismus einverleibt und zu dessen Vergrößerung verwandt werden. Im Gegensatz hierzu besteht das Wachsen der Krystalle nur in einer Anlagerung gleicher, mit der des Krystalles übereinstimmender Substanz von außen her. Da wir den Krystall als ein System parallel gerichteter Massenteilchen oder Moleküle betrachten, so ist es selbstverständlich, dass auch die bei weiterem Wachstum hinzutretenden Moleküle die gleiche Lage mit den schon vorhandenen annehmen müssen. Dadurch bleibt der Krystall nach der weiteren Vergrößerung ebenso gleichartig oder homogen durch seine ganze Masse hindurch, wie vorhin. —

Wenngleich die Form, welche die Krystalle einer Substanz zeigen, stets für die letztere charakteristisch ist (vgl. S. 3), so folgt daraus doch nicht, dass eine Substanz im krystallisierten Zu-

stande immer eine und dieselbe Form zeigen muss. Im Gegenteil kann dieselbe Substanz je nach den äußeren Umständen, unter welchen die Krystallisation stattfindet, in verschiedenen Gestalten auftreten, welche jedoch — und dies ist besonders hervorzuheben — sämtlich zu einander in einer nahen, im folgenden Kapitel zu erörternden Beziehung stehen. Demgemäß sind sie in ihrer Gesamtheit für den betreffenden Stoff charakteristisch. Ob also die Substanz in dieser oder jener, bei ihr möglichen Krystallform erscheint, dies hängt eben von den Bedingungen ab, unter welchen sich die einzelnen Krystalle gebildet haben. Wenn aber ein Stoff zu Beginn der Krystallisation eine gewisse Form angenommen hat und es ändern sich beim Weiterwachsen die äußeren Bedingungen, etwa die Temperatur oder die Konzentration der Lösung u. s. w., so kann sich infolge dessen auch die Form ändern, und es entstehen Krystalle, welche an ihrem älteren Teile, da wo derselbe nicht von jüngerer Substanz überlagert wurde, die eine und an ihrem jüngeren eine andere Form aufweisen. Solche Erscheinungen bezeichnet man als Fortwachsungen.

Wie die genannte, so werden wir später noch andere Bildungen gelegentlich näher kennen lernen, welche auf einem ungewöhnlichen Wachstum der Krystalle beruhen. So z. B. die sog. Krystallskelete und die baum- oder farnkrautähnlichen (dendritischen) Gebilde, welche durch eine ungleichmäßige Ausdehnung der Krystalle hervorgerufen werden, indem die letzteren vorwiegend nach gewissen Ebenen oder Linien fortwachsen, während sie nach anderen, dazwischen liegenden im Wachstum zurückbleiben.

III.

Allgemeine krystallographische Verhältnisse. Krystallsysteme. Krystallographische Achsen.

Wie wir im ersten Kapitel sahen, werden die Krystalle, falls sie normal gebildet sind, von ebenen oder nahezu ebenen Flächen begrenzt. Durch Zusammentreffen zweier Flächen entsteht eine Kante, durch Zusammentreffen von mindestens drei Kanten eine Ecke. In der Regel geht an einem Krystall jeder Fläche eine zweite parallel; den Zwischenraum zwischen beiden nennt man einen Parallelraum.

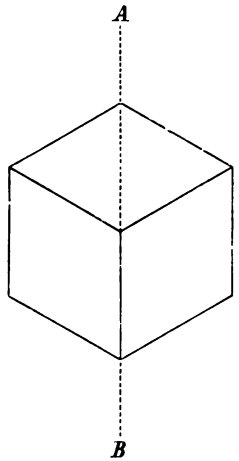


Fig. 6.

Bei eingehenderem Studium der außerordentlich zahlreichen und mannigfaltigen Formen, in welchen die Krystalle erscheinen, hat man gefunden, dass in Bezug auf die Regelmäßigkeit oder die Gleichartigkeit der Ausbildung nach verschiedenen Richtungen bei denselben wesentliche Unterschiede bestehen. Gewisse Krystalle sind sehr regelmäßig oder symmetrisch gebildet, andere weniger, wieder andere ganz unregelmäßig oder unsymmetrisch. Der Begriff der Symmetrie wird wohl am besten erläutert durch die Erklärung dessen, was man unter einer Symmetrieebene versteht. Eine Symmetrieebene ist eine solche Ebene, welche einen Krystall in zwei Teile so teilt, dass sich der eine Teil zum anderen verhält, wie ein Gegenstand zu

seinem Spiegelbilde. Nebenstehende Fig. 6 stellt einen Würfel dar, welcher mit einer Kante dem Beschauer zugekehrt ist. Eine zur Ebene des Papiers senkrechte und durch diese Kante gehende Ebene AB ist eine Symmetrieebene des Würfels, d. h. sie teilt denselben in zwei Teile so, dass der rechtsgelegene Teil das Spiegelbild des linksgelegenen darstellt, wobei die Symmetrieebene selbst den Spiegel bildet. Durch einen Würfel lassen sich, wie man sich an einem solchen leicht klar machen kann, neun Ebenen legen, nach welchen er symmetrisch ist, er besitzt einen sehr hohen Grad von Symmetrie. Nach der Zahl der einer Krystallform eigenen Symmetrieebenen richtet sich der Grad der Symmetrie, welchen dieselbe besitzt. Gewisse Formen sind jedoch ganz unsymmetrisch, sie besitzen keine einzige Symmetrieebene.

Auf Grund der verschiedenen Symmetriegrade, welche den Krystallformen zukommen, hat man dieselben in sechs Systeme eingeordnet, welche man Krystallsysteme nennt. Dieselben sind:

1. das reguläre,
2. das quadratische,
3. das hexagonale,
4. das rhombische,
5. das monokline oder monosymmetrische,
6. das trikline oder asymmetrische.

Was die Zahl der Symmetrieebenen betrifft, so sind deren vorhanden:

im regulären	Krystallsystem	neun,
» quadratischen	»	fünf,
» hexagonalen	»	sieben,
» rhombischen	»	drei,
» monoklinen	»	eine,
» triklinen	»	keine.

Jedes der genannnten Systeme umfasst eine Anzahl verschiedener Formen, welche sich dadurch von einander unterscheiden, dass die Flächen, von welchen sie umschlossen werden, eine verschiedenartige Lage besitzen. Es wird also darauf ankommen, die Lage der einzelnen Flächen genauer zu bestimmen. Dies geschieht dadurch, dass man dieselben auf die sog. Achsen bezieht, das sind gedachte gerade Linien, welche sich im Mittelpunkte des Krystalles, im Achsenmittelpunkte, schneiden. Die Lage einer einzelnen Fläche ist dann fest bestimmt durch das Verhältnis der Längen, in

welchen dieselbe die verschiedenen Achsen, deren mindestens drei vorhanden sein müssen, vom Achsenmittelpunkte aus gemessen trifft. Die Abschnitte, welche die Fläche an den Achsen hervorbringt, nennt man die Parameter derselben. Alle Flächen, welche zu einer bestimmten Krystallform gehören, schneiden die Achsen im nämlichen Verhältnisse. Ein Beispiel wird dies klar machen. Fig. 7 stellt ein Oktaeder dar, welches dem regulären Krystallsystem angehört. Es wird von acht gleichseitigen Dreiecken umschlossen und besitzt zwölf Kanten sowie sechs vierkantige Ecken. Diese Form wird nun auf drei, sich rechtwinklig schneidende Achsen (in der Figur mit a, a', a''

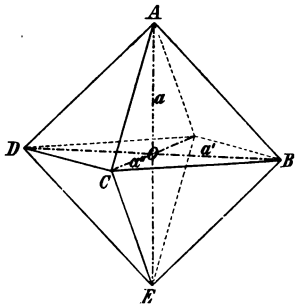


Fig. 7.

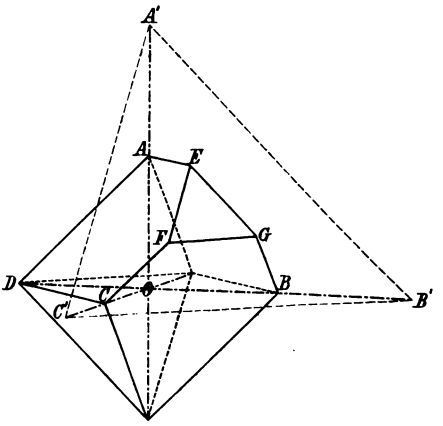


Fig. 8.

bezeichnet) bezogen. Die rechts oben liegende Fläche *ABC* z. B. trifft oder schneidet die drei Achsen in gleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte; die Achsenschnitte oder Parameter *OA*, *OB* und *OC* sind einander gleich (in der Figur, in welcher die Achse a'' nicht direkt auf den Beschauer zugewandt, sondern etwas nach links gedreht ist, erscheint *OC* natürlich verkürzt). Durch dieses Verhältnis der Achsenschnitte ist die Lage der Oktaederfläche vollkommen bestimmt. Dasselbe Verhältnis kehrt aber bei sämtlichen acht Flächen des Oktaeders wieder, bei der Fläche *ACD* z. B. ist $OA = OC = OD$ u. s. f.

Es sei hier gleich auf den sehr wichtigen Umstand aufmerksam gemacht, dass sich das Verhältnis der Achsenschnitte und damit die krystallographische Lage einer Fläche nicht ändert, wenn dieselbe parallel mit sich selbst verschoben und dadurch der betreffende Parallelraum vergrößert oder verkleinert wird.

Denkt man sich z. B. die Fläche *ABC* (Fig. 7 u. 8) parallel verschoben, bis sie doppelt so weit vom Achsenmittelpunkte *O* entfernt ist, als vorhin, so sind die drei Achsenschnitte derselben *OA'*, *OB'* und *OC'* gleich $2 \cdot OA$, $2 \cdot OB$ und $2 \cdot OC$, bleiben also unter sich gleich und stehen im nämlichen Verhältnisse zu einander wie *OA*, *OB* und *OC*. Das Oktaeder erhält dann die in Fig. 8 gezeichnete Gestalt. Während die weiter abgerückte Fläche *FEG* daran bedeutend kleiner geworden ist, als die ursprüngliche *ABC*, haben sich die drei benachbarten Flächen stärker ausgedehnt. Sie sind jetzt nicht mehr dreiseitig, sondern fünfseitig, weil sich die drei Ecken *A*, *B* und *C* gewissermaßen zu Kanten *AE*, *BG* und *CF* verlängert haben.

Die Krystalle weisen nun sehr oft gleichsam solche Verschiebungen einzelner Flächen auf, wodurch zwar die äußere Regelmäßigkeit ihrer Form verringert, das Wesen der letzteren hingegen, also auch der Grad ihrer Symmetrie ganz unverändert bleibt, weil die gegenseitige Lage der Flächen, demnach auch die von denselben gebildeten Winkel keinerlei Änderung erfahren.

Man bezeichnet derartige Bildungen als Verzerrungen. Dieselben erschweren häufig das Erkennen einer Krystallform.

Die Achsen, auf welche man die verschiedenen Krystallformen zurückführt, unterscheiden sich bei den einzelnen Systemen nach ihrer Zahl, der gegenseitigen Lage und ihrer relativen Länge. Im Folgenden sind die sog. Achsenkreuze der sechs Krystallsysteme zusammengestellt, in Fig. 9 durch gestrichelt-punktierte Linien angegeben. Man nimmt an:

1. im regulären System drei gleich lange und gleichwertige, auf einander senkrechte Achsen (*a*, *a*, *a* Fig. 9 *A*);
2. im quadratischen System drei auf einander senkrechte Achsen, von welchen zwei (Nebenachsen *a*, *a*) gleich lang und gleichwertig sind, die dritte (Hauptachse *c*) aber länger oder kürzer ist (Fig. 9 *B*);
3. im hexagonalen System vier Achsen; drei sog. Nebenachsen (*a*, *a*, *a*) sind gleichlang und gleichwertig, liegen in einer Ebene und schneiden sich unter 60°, die vierte, die Hauptachse *c*, steht auf den ersteren senkrecht und ist länger oder kürzer als diese (Fig. 9 *C*);
4. im rhombischen System drei ungleich lange, auf einander senkrechte Achsen *a*, *b*, *c* (Fig. 9 *D*);

5. im monoklinen System drei ungleich lange Achsen, wovon zwei (a und c) einen schiefen Winkel (β) einschließen, während die dritte (b) auf beiden senkrecht steht (Fig. 9 *E*);
6. im triklinen System drei ungleich lange Achsen (a, b, c), welche sich sämtlich schiefwinklig schneiden (Fig. 9 *F*).

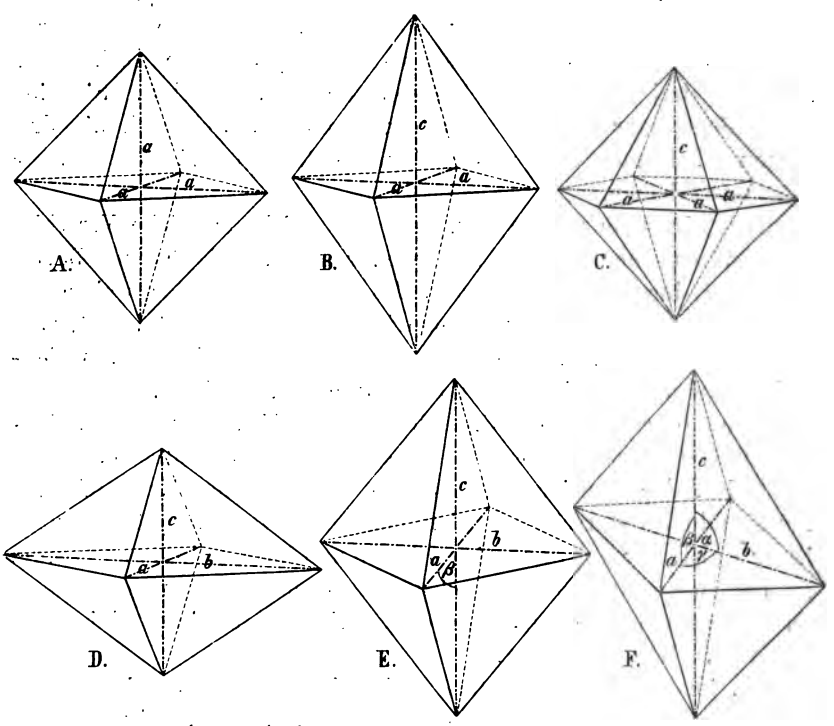


Fig. 9.

Wie bemerkt, spricht man von der relativen, nicht aber von der absoluten Länge der Krystallachsen. Dies liegt darin begründet, dass die Größe der Krystalle etwas durchaus Wechselndes ist und in keinerlei Beziehung zu der Form derselben steht. Diese letztere hängt lediglich von der gegenseitigen Lage der Flächen des Krystalles ab. Man drückt die relative Länge der Achsen in der Weise aus, dass man eine derselben zur Einheit wählt und angiebt, wie viel mal länger oder kürzer als diese die andern sind, resp. ob sie derselben gleich sind. Dabei rechnet man die Länge einer Achse stets vom Achsenmittelpunkte aus, zieht also nur die

Halbachsen in Betracht. Das Verhältnis der Achsenlängen (Achsenverhältnis) ist, natürlich mit Ausnahme der im regulären (gleichachsigen) System krystallisierenden Körper, für jede in irgend einem System krystallisierende Substanz ein besonderes, für sie charakteristisches. Nach diesem Verhältnis richten sich die Winkel, also auch die ganze Gestaltung ihrer Krystalle. Im monoklinen und im triklinen System kommt noch hinzu, dass auch der von den Achsen a und c, resp. von je zwei Achsen überhaupt gebildete Winkel bei jeder in einem dieser Systeme krystallisierenden Substanz eine für dieselbe charakteristische Größe hat.

Jede durch zwei Achsen gelegte Ebene nennt man eine Achsenebene. Je zwei Achsenebenen schneiden sich in einer Achse. Im hexagonalen System giebt es vier Achsenebenen, in den übrigen Systemen nur drei. Der Raum um den Achsenmittelpunkt wird durch die drei Achsenebenen der dreiachsigen Systeme in acht Teile oder Krystallräume geteilt, welche man Oktanten nennt. Die vier Achsenebenen des hexagonalen Systems teilen den Raum in zwölf Krystallräume, welche man Dodekanten nennt. Man bezeichnet dieselben jedoch häufiger als Sextanten, wobei man nur je sechs um die halbe Hauptachse liegende Krystallräume im Auge hat.

In Fig. 9 *A*—*F* sind durch je drei benachbarte Achsenendpunkte Ebenen gelegt, wodurch man von acht, im hexagonalen System von zwölf Flächen umschlossene Pyramiden (eigentlich Doppelpyramiden) erhält. Die mit *A* bezeichnete wird, wie schon bemerkt, Oktaeder genannt. Man gelangt nun ganz allgemein zu den verschiedenartigen Formen eines Krystallsystems, indem man durch die Endpunkte der einzelnen ganzen Achsen oder eines Bruchteiles oder endlich eines Vielfachen derselben Ebenen legt und dabei die gleichwertigen Achsen in gleicher Weise behandelt. Im Folgenden ist ein Beispiel einer derartigen Ableitung gegeben.

In Fig. 10 seien die Linien *OD*, *OB* und *OF* die einfachen, *OE*, *OC* und *OG* die doppelten Achsen des regulären Systems. Man denke sich nun durch die Punkte *G*, *D*, *B* sowie durch *C*, *D*, *F* je eine Ebene gelegt, dann trifft eine solche jedesmal zwei Achsen in der einfachen, die dritte aber in der doppelten Länge, so dass man ihre Lage durch das Zeichen $a : a : 2a$ ausdrücken könnte. Beide Ebenen schneiden sich in der geraden Linie *DH*,

wodurch eine Kante entsteht. Es lässt sich aber noch eine dritte Ebene in gleicher Weise legen, nämlich durch die Punkte *E*, *F*, *B*. Dieselbe schneidet die beiden ersteren Ebenen und zwar *GDB* in *JB* und *CDF* in *FK*, wodurch wiederum zwei Kanten entstehen. Die drei Ebenen bilden zusammen eine ausspringende Ecke *A*, und zwar liefert *GDB* dazu die Fläche *DAB*, *CDF* die Fläche *DAF* und *EFB* die Fläche *FAB*. Was aber in dem einen Oktanten geschieht, muss im regulären System wegen der Gleichheit aller Oktanten auch in den sieben übrigen geschehen. Legt man in gleicher

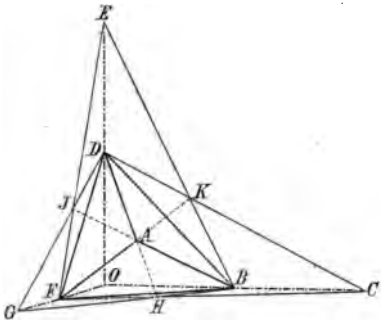


Fig. 10.

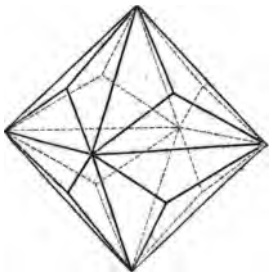


Fig. 11.

Weise auch in diese je drei Ebenen, so erhält man eine ringsum geschlossene Krystallform, welche in Fig. 11 abgebildet ist. Sie wird von $3 \cdot 8 = 24$ dreiseitigen Flächen umschlossen und als Triakisoktaeder (Dreimalachtflächner) bezeichnet. Alle Flächen, welche zu den Achsen eines Systems gleiche Lage haben, bilden zusammen eine einfache Krystallform. So bilden die acht Flächen, von welchen jede die drei Achsen des regulären Systems in gleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneidet, vereinigt das Oktaeder; es sind nur acht solcher Flächen möglich. Die 24 Flächen, wovon jede einzelne (bei hinreichender Verlängerung) zwei Achsen in der einfachen, die dritte aber in doppelter Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneidet, bilden zusammen das eben besprochene Triakisoktaeder; es sind nur 24 solcher Flächen möglich.

Es kann jedoch auch der Fall eintreten, dass die Flächen einer Krystallform nur je zwei Achsen schneiden, der dritten (resp. im hexagonalen System den beiden anderen) aber parallel gehen, ja es kann nur eine Achse geschnitten werden, während die betreffende

Fläche den anderen Achsen parallel geht. Letzteres ist z. B. der Fall bei dem Würfel, welcher gleichfalls dem regulären System angehört. Fig. 12 zeigt, dass jede der sechs Würfelflächen eine Achse schneidet, den beiden anderen aber parallel geht.

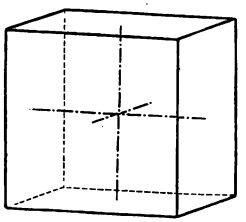


Fig. 12.

An nicht regulären Krystallen treten häufig zwei parallele Flächen auf, welche im hexagonalen oder quadratischen System den Nebenachsen, im rhombischen, monoklinen oder triklinen System den Achsen *a* und *b* parallel gehen. Sie schneiden also nur die Hauptachse, resp. die Achse *c*. Solche Flächen bezeichnet man allgemein als Basis. Bei der speziellen Besprechung der einzelnen Krystallsysteme werden wir die Ableitung der mannigfaltigen Formen von den Achsen noch genauer kennen lernen.

Immer stehen die Abstände, in welchen die Flächen einer Form die einzelnen Achsen (vom Mittelpunkte aus) treffen, zu der einfachen Länge derselben in einem durch rationale, meist einfache Zahlen (2, 3, 4 ... $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ ...) ausdrückbaren Verhältnisse. Dieses höchst wichtige Gesetz, welches die gesamte Krystallwelt beherrscht, nennt man das Gesetz der rationalen Achsenschnitte.

Bei den Flächen des Oktaeders verhalten sich die Achsenschnitte wie 1 : 1 : 1, bei den Flächen des eben besprochenen Triakisoktaeders wie 1 : 1 : 2. Da die Flächen des Würfels nur je eine Achse schneiden, den beiden anderen aber parallel gehen oder sie, wie man auch sagen kann, erst in unendlicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte treffen, so kann man für dieselben unter Benutzung des Zeichens ∞ (für unendlich) das Verhältnis der Achsenschnitte so ausdrücken 1 : ∞ : ∞.

Die Krystalle einer Substanz gehören stets einem der sechs Krystallsysteme an. Es gilt für sie, wie schon bemerkt, ein ganz bestimmtes Achsenverhältnis, im monoklinen und triklinen System auch eine bestimmte Größe der von den Achsen gebildeten schiefen Winkel. An und für sich können nun sämtliche Formen an ihnen auftreten, deren Flächen, auf jenes Achsensystem bezogen, dem Gesetze der rationalen Achsenschnitte folgen. Alle diese einzelnen Formen sind unter sich durch die Ableitung von einem und demselben Achsensystem verbunden und in ihrer Gesamtheit für die betreffende Substanz charakteristisch (vgl. S. 15). Indes kommen

in Wirklichkeit nicht alle möglichen Formen an den Krystallen einer Substanz vor, sondern man hat immer nur eine begrenzte, größere oder kleinere Zahl derselben beobachtet. Welche von ihnen erscheinen, dies hängt von den Bedingungen ab, unter denen sich die einzelnen Krystalle gebildet haben. Leider sind diese Bedingungen erst für eine sehr geringe Anzahl von Fällen näher erforscht.

Häufig weist ein Krystall nur Flächen einer und derselben Form auf, er erscheint z. B. als einfaches Oktaeder oder als Würfel. Noch zahlreicher sind jedoch die Krystalle, an welchen man die Flächen mehrerer Formen zugleich wahrnimmt. So findet man z. B. oft Oktaeder, deren sechs Ecken durch quadratische Flächen gerade abgestumpft sind (Fig. 13). Diese quadratischen Flächen gehören einer anderen Form, nämlich dem Würfel an, und würden bei hinreichender Vergrößerung einen solchen bilden. Eine derartige Vereinigung zweier oder mehrerer Formen an einem und demselben Krystalle nennt man eine Kombination.

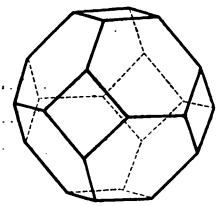


Fig. 13.

Sehr wichtig für die genauere Kenntnis der Krystallformen, namentlich der Kombinationen, sind die sog. Zonen. Unter einer Zone versteht man eine Gruppe von Flächen, welche sich sämtlich in parallelen Kanten schneiden. Dieselben können sowohl einer einzigen Krystallform als auch einer Kombination mehrerer Formen angehören. So bilden z. B. beim Würfel je vier Flächen, welche derselben Achse parallel gehen, eine Zone. In der Kombination Fig. 13 bilden jedesmal vier Oktaederflächen mit zwei an den Enden derselben Achse liegenden Würfelflächen eine Zone. Gehört eine Krystallfläche gleichzeitig zwei verschiedenen Zonen an, so ist ihre Lage dadurch eine festbestimmte. So gehört jede Würfelfläche in Fig. 13 zwei der zuletzt erwähnten Zonen an. Hieraus könnte ihre krystallographische Lage, falls sie noch nicht bekannt wäre, abgeleitet werden.

IV.

Die physikalischen Eigenschaften der Krystalle: Spaltbarkeit, Schlagfiguren, Bruch, Härte, Ätzfiguren.

Nachdem wir das Wesen eines Krystalles kennen gelernt, auch einen Einblick in die allgemeineren Verhältnisse der Krystallformen gewonnen haben, können wir uns zu den physikalischen Eigenschaften der Krystalle wenden. Dieselben verdienen, wie wir bald sehen werden, unser besonderes Interesse.

Die erste Eigenschaft, welche wir in Betracht ziehen wollen, ist die Kohäsion oder der Zusammenhang der Krystallmasse.

Zerbricht oder zerschlägt man Krystalle verschiedener Mineralien, so bemerkt man häufig, dass die Bruchflächen der einzelnen Stücke eben und glänzend sind und demnach große Ähnlichkeit mit Krystallflächen haben. Man bezeichnet solche Flächen, weil sie am besten durch Spalten der betreffenden Krystalle mit Hilfe eines Messers oder Meißels erhalten werden können, als Spaltungsflächen, und die Eigenschaft der Krystalle, sich auf die genannte Weise nach ebenen Flächen teilen zu lassen, als Spaltbarkeit. Die Spaltungsflächen haben aber nicht blos eine äußere Ähnlichkeit mit Krystallflächen, sondern sie besitzen auch die Lage von solchen, sie gehen gewissen Krystallflächen parallel. Dazu kommt, dass, wenn ein Krystall sich nach einer Fläche einer einfachen Krystallform spalten lässt, er auch nach allen Flächen dieser Form Spaltbarkeit zeigt. Ein Würfel von Steinsalz z. B. zeigt sehr deutliche Spaltbarkeit nach drei auf einander senkrechten Richtungen: jede derselben geht zwei Flächen des Würfels parallel. Man kann deshalb leicht aus einem solchen Würfel mehrere kleinere Würfel

herausspalten. Der Steinsalzkrystall ist durch seine ganze Masse hindurch in den genannten Richtungen spaltbar; jedes Spaltungsstück lässt sich wieder in gleicher Weise teilen. In dem hier gewählten Beispiele gehen die Spaltungsrichtungen den am Krystall wirklich auftretenden Flächen parallel. Es kann jedoch ebenso gut der Fall sein, dass sich ein Krystall nach Flächen spalten lässt, welche gar nicht als wirkliche Krystallflächen an ihm vorhanden sind. Immer aber sind es solche Flächen, welche an dem betreffenden Krystalle auftreten *könnten*, welche also zu der Zahl der an ihm *möglichen* Flächen gehören. Ein Würfel von Flussspat lässt sich z. B. nicht nach den Würfelflächen, wohl aber sehr deutlich nach den Flächen des Oktaeders spalten. Und dies gilt von *allen* Flussspatkrystallen, mögen sie im übrigen eine Form zeigen, welche sie wollen: sämtliche sind nach den Flächen des Oktaeders spaltbar. Überhaupt zeigen alle Krystalle desselben Minerals (resp. desselben krystallisierten Körpers), falls sie spaltbar sind, diese Spaltbarkeit nach den nämlichen Flächen. Daraus folgt, dass die Spaltbarkeit ein sehr wichtiges Mittel abgeben kann, um einen Krystall eines Minerals als solchen zu erkennen.

Bei manchen Krystallen ist die Spaltbarkeit eine so vollkommene, dass man sie kaum übersehen kann. Es bilden sich schon durch Erschütterung oder Stoß innerhalb ihrer Masse Spaltungsflächen, welche sich, falls die Krystalle durchsichtig sind, durch die an denselben stattfindende Spiegelung des Lichtes bemerklich machen. Die Spaltbarkeit darf aber nicht so gedeutet werden, als ob solche Spaltungsflächen, wenn auch versteckt, schon ursprünglich in den Krystallen vorhanden wären; im Gegenteil, die Krystallmasse ist, wie früher hervorgehoben wurde, durchaus einheitlich und füllt den Raum ununterbrochen aus.

Ein Mineral, dessen Krystalle sich durch eine sehr vollkommene Spaltbarkeit auszeichnen, ist der Glimmer. Derselbe krystallisiert im monoklinen System und lässt sich außerordentlich leicht nach der Basis, also nach einer Ebene, welche den beiden Achsen *a* und *b* parallel geht, spalten. Ohne Mühe kann man die dünnsten Blättchen von Glimmer erhalten; stellenweise benutzt man große durchsichtige Spaltungsplatten desselben als Fensterscheiben (russisches Glas). Anderseits giebt es auch Krystalle, welche keinerlei deutliche Spaltbarkeit erkennen lassen. So wird man z. B. vergeblich versuchen, an Quarzkrystallen Spaltungsflächen

zu erzeugen. Man erhält statt solcher stets unebene Bruchflächen. Die Spaltbarkeit ist also hier eine so unvollkommene und versteckte, dass man sie auf die gewöhnliche Weise nicht zu entdecken vermag.

Eine andere Art von Trennungsflächen, als man durch Spalten erhält, entsteht bei manchen, namentlich nicht zu harten Krystallen, wenn man auf eine Fläche derselben, am besten eine solche, nach welcher der Krystall spaltbar ist, eine Stahlspitze (Nadel) aufsetzt und gegen dieselbe einen leichten Schlag führt. Die Spitze dringt in die Masse des Krystalles ein, und von der entstandenen Vertiefung aus verlaufen geradlinige Risse nach bestimmten Richtungen. Die von denselben gebildete Figur nennt man Schlagfigur.

Ein hübsches Beispiel liefert das Steinsalz. Eine Platte desselben, nach einer Würfelfläche abgespalten, giebt sehr deutliche, rechtwinklig-kreuzförmige Schlagfiguren (Fig. 14). Die Arme der kleinen, am besten durch eine Lupe zu betrachtenden Kreuze gehen aber nicht den Seiten, sondern den Diagonalen der Würfelfläche parallel, woraus hervorgeht, dass die durch die Risse angedeuteten Trennungsflächen mit den Spaltungsflächen nichts gemein haben. Bei genauerer Untersuchung überzeugt man sich, dass dieselben senkrecht zur getroffenen Würfelfläche stehen, also solchen Flächen entsprechen, welche die vier in gleicher Richtung (in der Figur senkrecht zur Ebene des Papiers) verlaufenden Würfelkanten gerade abstumpfen würden. Solche Trennungsflächen bezeichnet man im Gegensatz zu den Spaltungsflächen als Gleitflächen. Dieser Name wurde gewählt, weil nach jenen Flächen leicht eine Verschiebung, ein Gleiten der Krystallmasse stattfindet, wenn man dieselbe einem geeigneten Drucke aussetzt. Schleift oder feilt man an einem Würfel von Steinsalz zwei gegenüberliegende Kanten gerade ab, wodurch rechteckige Abstumpfungsflächen entstehen, und presst dann den Krystall zwischen diesen beiden Flächen, so bemerkt man, wie in dem Krystalle eine Trennungsfläche aufblitzt, welche die Lage einer Gleitfläche besitzt. Die Gleitflächen stehen übrigens ebenso wie die Spaltungsflächen in innigster Beziehung zu den Symmetrieverhältnissen der betreffenden Krystalle; sie gehen stets Flächen parallel, welche als wirkliche Krystallflächen auftreten oder doch auftreten können.

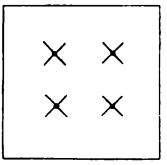


Fig. 14.

Sehr schöne Schlagfiguren erhält man auch an Spaltungstafeln

von Glimmer. Dieselben sind nicht vier- sondern sechsstrahlig, und die Strahlen schneiden sich unter Winkeln von 60°. An ihren Enden verlaufen die Strahlen oft krummlinig und lösen sich in eine Anzahl feinerer Risse auf. Fig. 15 stellt eine vergrößerte Schlagfigur des Glimmers dar.

Diejenigen Krystalle, welchen keine deutliche Spaltbarkeit eigen ist, zeigen nach dem Zerbrechen unregelmäßig verlaufende Trennungsflächen, welche man einfach als **Bruchflächen** bezeichnet. In der Regel sind die Bruchflächen aus rundlichen, muschelähnlichen Vertiefungen und Erhöhungen zusammengesetzt und man spricht dann von **muscheligem Bruch**. Die Bruchflächen, welche man erhält, wenn man Krystalle gediegener dehnbarer Metalle (Kupfer, Silber) zerbricht, zeigen viele feine hakenförmige Teile: man nennt diese Art des Bruches den **hakigen Bruch**. Im übrigen besitzt der Bruch bei weitem nicht die gleiche Bedeutung wie die Spaltbarkeit. Viel wichtiger ist die **Härte** der Krystalle. Man versteht darunter den Widerstand, welchen die Masse eines Krystalles dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt, und prüft sie in der Weise, dass man den Krystall auf verschiedenen Flächen mit einem spitzen oder scharfen Körper zu ritzen versucht. Ein Gypskrystall lässt sich schon mit dem Fingernagel ritzen, bei einem Kalkspat- oder Flussspatkrystalle gelingt dies nicht mehr, wohl aber dringt eine Messerspitze leicht in dieselben ein. Indes bemerkt man bald, dass die Spitze beim Kalkspat noch leichter eindringt als beim Flussspat, und dass man bei ersterem durch Schaben mit dem Messer eine größere Menge von abgelöstem Pulver erhält als unter Anwendung des gleichen Druckes beim Flussspat. Die drei genannten Mineralien Gyps, Kalkspat und Flussspat stehen hinsichtlich ihres Härtegrades in folgender Beziehung zu einander: Kalkspat ritzt den Gyps, wird aber von Flussspat geritzt.

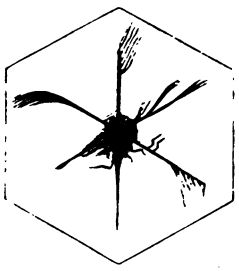


Fig. 15.

Wieder härter als die Krystalle von Flussspat sind solche von Apatit. Derselbe hat ungefähr die Härte des Glases, lässt sich daher mit dem Messer nur schwer, wohl aber mit der Feile angreifen. Feldspat und Quarz, namentlich der letztere, geben schon wegen ihrer bedeutenden Härte mit dem Stahle Funken. Die Edelsteine

sind noch härter wie Quarz; am härtesten ist der Diamant, welcher bekanntlich nur in seinem eigenen Pulver geschliffen werden kann.

Aus dem Gesagten geht hervor, wie ungleich die Härte verschiedener Krystalle sein kann, und ein wie wichtiges Kennzeichen derselben sie ist. Um nun den Grad der Härte, wenn auch nur annähernd, kurz ausdrücken zu können, hat man, nach dem Vorgange des berühmten Mineralogen Mohs, eine Härteskala aufgestellt, welche aus zehn Nummern besteht:

1. Talk	6. Feldspat
2. Gyps	7. Quarz
3. Kalkspat	8. Topas
4. Flussspat	9. Korund
5. Apatit	10. Diamant.

Ritzt nun z. B. ein Krystall den Kalkspat, nicht aber den Flussspat und wird auch von diesem nicht geritzt, so ist seine Härte genau gleich 4; ritzt er hingegen den Kalkspat, wird aber selbst von Flussspat geritzt, so liegt seine Härte zwischen 3 und 4, man drückt sie aus durch 3,5. Damit soll aber nicht gesagt sein, dass die betreffende Härte genau in der Mitte zwischen der des Kalkspats und der des Flussspats liege. Überhaupt sind die Zahlen der Härteskala mehr als Nummern, denn als wirkliche Grade zu bezeichnen. Der Unterschied zwischen den höheren Gliedern ist größer als der zwischen den Anfangsgliedern der Skala. Zwischen Korund und Diamant ist bei weitem der größte Abstand. Mit dem Topas beginnt die Edelsteinhärte.

Bei genauerer Untersuchung der Härteverhältnisse der Krystalle hat man gefunden, dass solche Krystalle, welche eine deutliche Spaltbarkeit besitzen, auf den Spaltungsflächen eine oft wesentlich geringere Härte zeigen, als auf anderen Flächen. Dieser Unterschied ist z. B. bei Gyps und Glimmer sehr deutlich wahrzunehmen. Aber selbst auf der nämlichen Fläche eines solchen Krystalles kann die Härte, in verschiedenen Richtungen geprüft, verschieden sein. Um diese Verschiedenheit eingehender zu erforschen, hat man besondere Instrumente konstruiert, welche Sklerometer genannt werden, deren Beschreibung uns jedoch zu weit führen würde. Drückt man die Ergebnisse einer solchen Untersuchung in der Weise aus, dass man die nach verschiedenen Richtungen ermittelte Härte durch gerade Linien darstellt, welche von einem Punkte nach den betref-

fenden Richtungen ausgehen, und verbindet die Endpunkte dieser Linien, so erhält man die Härtekurve der untersuchten Fläche. Fig. 16 stellt die Härtekurve für die Würfelflächen des Steinsalzes dar. Dieselbe ist vierlappig, sie besitzt vier höchste Grade oder Maxima *F*, *G*, *H* und *J*, sowie vier niedrigste Grade oder Minima *B*, *C*, *D* und *E*. Die Härte ist also am größten in den Richtungen *AF*, *AG*, *AH* und *AJ*, am kleinsten in den Richtungen *AB*, *AC*, *AD* und *AE*. Erstere fallen mit den Diagonalen der quadratischen Fläche zusammen, letztere stehen auf den Seiten derselben senkrecht. Die übrigen Härtegrade findet man, wenn man von *A* aus in der betreffenden Richtung bis zur Kurve eine gerade Linie zieht, z. B. *AK* resp. *AL*. Besonders bemerkenswert ist der Umstand, dass die Härte in der Richtung senkrecht zur Spaltbarkeit (in der Figur also senkrecht zu zwei Seiten des Quadrates) am kleinsten, in der mittleren Richtung (entsprechend den Diagonalen des Quadrates) am größten ist. Ganz ähnliche Beobachtungen hat man an anderen leicht spaltbaren Krystallen gemacht und gefunden, dass überhaupt die auf einer Krystallfläche auftretenden verschiedenen Härtegrade mit den die Fläche treffenden Spaltungsrichtungen in gesetzmäßigem Zusammenhange stehen. Ist eine Fläche parallel zur Spaltung und wird sie von gar keiner ferneren Spaltungsrichtung getroffen, so zeigen sich auch auf derselben keine Härteunterschiede, mit anderen Worten, ihre Härtekurve ist ein Kreis.

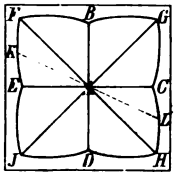


Fig. 16.

Eine andere Art von Kohäsion, als sie sich bei mechanischen Eingriffen, also beim Spalten oder Ritzen der Krystalle, offenbart, zeigt sich bei der lösenden resp. zersetzenden Einwirkung gewisser Substanzen auf die Masse der Krystalle. Bringt man einen Krystall mit gewissen Flüssigkeiten oder auch wohl Dämpfen zusammen, so werden seine Flächen von denselben angegriffen oder angeätzt. Doch wird die Krystallsubstanz nicht gleichmäßig, gewissermaßen schichtenweise, aufgelöst, sondern es bilden sich unregelmäßig über die Flächen verteilte, meist mikroskopisch kleine Vertiefungen, welche von ebenen Flächen begrenzt sind. Die auf der nämlichen Fläche auftretenden sind gleichgestaltet und haben eine parallele Lage. Man nennt diese Vertiefungen Ätzfiguren. Bei fortgesetzter Einwirkung des Ätzmittels vergrößern sich die Ätzfiguren, oft sehr schnell, wobei ihre Deutlichkeit abnimmt: gleichzeitig ent-

stehen neue Vertiefungen, und die Fläche wird bald uneben bis rauh. In dieser Weise schreitet dann die Auflösung des Krystalles fort. Will man einzelne, deutliche, scharf begrenzte Ätzfiguren erhalten, so darf man das Ätzmittel nur ganz kurze Zeit (wenige Sekunden) oder nur in mehr oder weniger verdünntem Zustande auf die Krystallflächen einwirken lassen. Die Beobachtung der Ätzfiguren geschieht in allen Fällen am besten mit Hilfe des Mikroskops; oft sind dieselben außerordentlich klein.

Die Bildung der Ätzfiguren beruht, wie gesagt, im wesentlichen darauf, dass die betreffende Krystallfläche nicht gleichmäßig, sondern zunächst nur an gewissen Punkten von der lösenden resp. zersetzend wirkenden Flüssigkeit (oder dem Dampfe) angegriffen wird, und dass die Auflösung von diesen Punkten aus nach verschiedenen Richtungen mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreitet. Dabei entstehen jedoch keine rundlichen resp. von krummen Flächen begrenzten Gestalten, sondern solche, die von ebenen Flächen (den sog. Ätzflächen) umschlossen werden. Nur bei zu rascher und intensiver Einwirkung des Ätzmittels bilden sich rundliche oder unregelmäßig geformte Ätzfiguren. Manchmal auch sind die Ätzfiguren verzerrt, was namentlich dadurch herbeigeführt wird, dass die Lösung nach einzelnen Richtungen unverhältnismäßig schnell fortschreitet. Die normal gebildeten Ätzfiguren sind jedoch meist von großer Regelmäßigkeit und Schärfe und gewähren unter dem Mikroskop betrachtet einen hübschen Anblick.

Geht man von je einem Punkte der verschiedenen Flächen eines Krystalles aus, von welchem die Auflösung desselben ihren Anfang nehmen soll, so lässt sich erwarten, dass die Geschwindigkeit, womit die Lösung nach verschiedenen Richtungen fortschreitet, auf gleichartigen Flächen (d. h. solchen, die derselben Krystallform angehören) gleich, auf verschiedenartigen aber verschieden sein werde. Infolge dessen werden die Ätzfiguren gleichartiger Flächen eines Krystalles die nämliche, diejenigen verschiedenartiger Flächen aber eine abweichende Gestalt haben.

Die Form der Ätzfiguren hängt aber auch von der Natur des angewandten Ätzmittels ab, indem Krystalle derselben Substanz, mit verschiedenartigen Ätzmitteln behandelt, ungleich geformte Ätzfiguren liefern.

Die krystallographische Bedeutung der Ätzfiguren liegt wesentlich darin begründet, dass sie ihrer Form und Lage nach genau

den Symmetrieverhältnissen der sie tragenden Fläche entsprechen. Eine Krystallfläche ist nach einer in ihr liegenden Linie symmetrisch, wenn durch diese Linie und senkrecht zur Fläche eine Symmetrieebene des ganzen Krystalles geht. Die Symmetrielinie teilt die Fläche in zwei Hälften, welche sich zu einander verhalten wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbilde. Es giebt Krystallflächen, welche mehrere oder nur eine oder endlich gar keine Symmetrielinie besitzen.

Nachdem wir dies vorausgeschickt, können wir zur speciellen Besprechung einiger Beispiele von Ätzfiguren übergehen, welche in den Figg. 17—20 abgebildet sind. Fig. 17 zeigt eine Würfelfläche von Steinsalz, geätzt mit Wasser. Die Ätzfiguren sind quadratisch

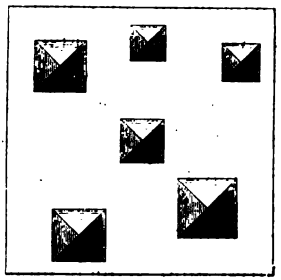


Fig. 17.

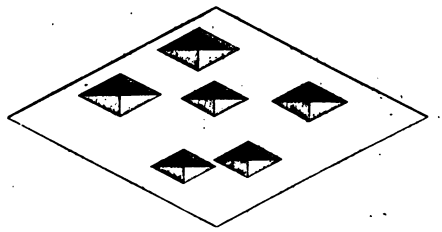


Fig. 18.

begrenzt und stellen vierseitige, vertiefte Pyramiden dar. Die Würfelfläche besitzt vier Symmetrielinien, welche sich im Mittelpunkte der Fläche schneiden; zwei gehen den Seiten und zwei den Diagonalen der Fläche parallel. Dementsprechend lassen sich auch die Ätzfiguren sowohl nach den Seiten als auch nach den Diagonalen der Fläche symmetrisch teilen. Sie sind nach rechts, links, vorn und hinten gleich gestaltet. Anders verhält es sich bei Fig. 18, welche die mit geschmolzenem Ätzkali behandelte Basis (parallel den Achsen *a* und *b*) des im rhombischen System krystallisierenden Topases darstellt. Die Basis eines rhombischen Krystalles besitzt nur zwei Symmetrielinien, eine nach der kurzen Diagonale (entsprechend der Achse *a*) und eine nach der langen Diagonale (entsprechend der Achse *b*). Sie lässt sich also nach ihren Diagonalen, nicht aber nach ihren Seiten symmetrisch teilen. Dasselbe gilt von den Ätzfiguren, welche auf ihr erscheinen. Sie

sind einerseits nach rechts und links, sowie anderseits nach vorn und hinten gleich gestaltet.

Noch geringer ist der Grad der Symmetrie auf der mit Flusssäure geätzten Basis des im monoklinen (monosymmetrischen) System krystallisierenden Orthoklases. Die Basis eines monoklinen Krystalles ist nur nach der Linie, welche der Achse a entspricht, symmetrisch teilbar, also nach rechts und links, nicht aber nach vorn und hinten symmetrisch. Dementsprechend sind auch die in Fig. 19 wiedergegebenen Ätzfiguren des genannten Minerals nur nach rechts und links, nicht aber nach vorn und hinten gleich gestaltet.

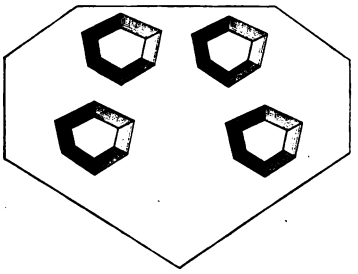


Fig. 19.

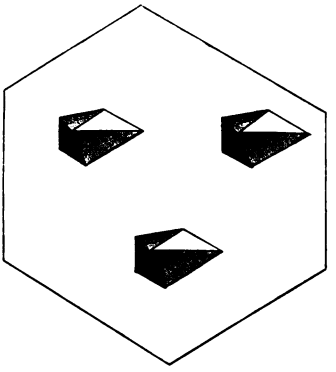


Fig. 20.

Ganz unsymmetrisch sind endlich die in Fig. 20 abgebildeten, gleichfalls mit Flusssäure erhaltenen Ätzeindrücke auf der Basis des im triklinen (asymmetrischen) System krystallisierenden Albits. Wie es hier für die Basis selbst gar keine Symmetrielinie mehr giebt, so lassen sich auch die Ätzfiguren derselben in keiner Weise in zwei symmetrische Hälften teilen.

Nach dem Gesagten ist es leicht verständlich, dass die Ätzfiguren ein vortreffliches Mittel abgeben können, um in zweifelhaften Fällen das System eines Krystalles festzustellen. Andere nicht minder wichtige Schlüsse, welche sich aus der Gestalt und Lage der auf einer Krystallfläche auftretenden Ätzfiguren ziehen lassen, werden wir bei späteren Gelegenheiten kennen lernen.

Häufig findet man, dass gewisse Flächen eines Krystalles beim Ätzen stärker angegriffen werden als andere, indem darauf die Ätzfiguren schneller und dichter gedrängt auftreten. Zuweilen kann

man auch nur bemerken, dass gewisse geätzte Flächen matter oder rauher erscheinen als andere desselben Krystalles. Es will dann kaum oder gar nicht gelingen, die einzelnen Ätzfiguren für sich zu erkennen. Immer aber verhalten sich die zur nämlichen Krystallform gehörigen Flächen beim Ätzen gleich.

Nicht selten trifft man übrigens in der Natur Krystalle an, deren Flächen mit Ätzfiguren bedeckt sind. Die Ätzung ist also hier auf Flüssigkeiten oder Dämpfe zurückzuführen, deren Einwirkung die Krystalle auf ihrer Lagerstätte ausgesetzt gewesen sind.

V.

Fortsetzung: Einfache und doppelte Lichtbrechung. Optisch einachsige und zweiachsige Krystalle. Glanz, Farbe, Strich. Verhalten gegen die Wärme.

Von größter Bedeutung für denjenigen, welcher sich eingehender mit den Krystallen beschäftigen will, ist die Kenntnis der optischen Eigenschaften derselben, insbesondere der Lichtbrechungserscheinungen, welche die durchsichtigen Krystalle darbieten.

Unter Lichtbrechung versteht man die Ablenkung, welche ein Lichtstrahl erfährt, wenn er aus einer dünneren Substanz oder aus dem luftleeren Raume in eine dichtere übergeht oder umgekehrt. Dringt z. B. ein Lichtstrahl aus der Luft in Glas oder Wasser ein, so erleidet er eine Ablenkung von seiner Richtung, ausgenommen, wenn er senkrecht auf die Trennungsfläche der beiden Substanzen (auch Mittel genannt), der Luft und des Glases resp. des Wassers auffällt. Ein senkrecht auffallender Strahl wird nicht gebrochen, sondern geht in unveränderter Richtung in dem zweiten Mittel weiter. Stellt in Fig. 21 *AB* einen Durchschnitt der Trennungsfläche zwischen dem oberen dünneren und dem unteren dichteren Mittel, sowie *CD* einen in *D* auffallenden Strahl

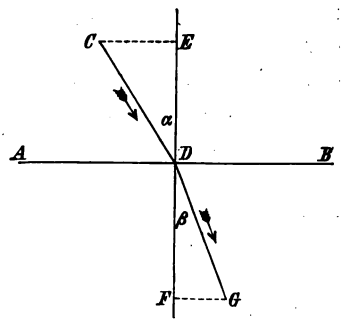


Fig. 21.

und die nach unten verlängerte Linie *DE* eine Senkrechte auf *AB*, das sog. Einfallslot, dar, so nennt man den Winkel *CDE* oder α den Einfallswinkel. Der Strahl *CD* geht nun in dem dichteren Mittel so weiter, dass er sich dem Einfallslote (*DF*) mehr nähert. Er sei durch *DG* dargestellt; man nennt ihn den gebrochenen Strahl und den Winkel *FDG* oder β den Brechungswinkel. Der einfallende und der gebrochene Strahl liegen mit dem Einfallslote in einer Ebene und das allgemeine Brechungsgesetz lautet: geht ein Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres Mittel über, so wird er dem Einfallslote zugebrochen, geht er aber aus einem dichteren in ein dünneres Mittel über, so wird er vom Einfallslote weggebrochen. Doch darf im letzteren Falle, wenn ein Lichtstrahl aus einem dichteren Mittel in ein dünneres übergehen soll, derselbe die Trennungsfläche nicht zu schräg treffen, widrigenfalls er gar nicht in das dünnere Mittel gelangt, sondern von der Trennungsfläche wie von einem Spiegel in das dichtere Mittel zurückgeworfen wird. Man bezeichnet diese Erscheinung als totale Reflexion.

Die Größe der Ablenkung, welche ein gebrochener Strahl erfährt, drückt man durch den sog. Brechungsquotienten oder Brechungsexponenten aus. Ist in Fig. 21 $CD = DG$, ferner *CE* senkrecht auf *ED* und *GF* senkrecht auf *DF*, so ist *CE*, dividiert durch *FG*, $\frac{CE}{FG}$, der Brechungsexponent. Gewöhnlich bestimmt man den Brechungsexponenten für den Übergang der Strahlen aus der Luft (genauer aus dem luftleeren Raume) in den betreffenden durchsichtigen Körper. Nun gilt für alle nicht krystallisierten Körper (z. B. Wasser, Glas) wie auch für alle dem regulären System angehörigen Krystalle das wichtige Gesetz, dass der Brechungsexponent immer denselben Wert hat, mögen die Strahlen bei einem und demselben Körper in einer Richtung auffallen, wie sie wollen. Für Wasser ist der Brechungsexponent 1,333, für Flintglas 1,6, für Steinsalz 1,54, für Diamant 2,47.

Man nimmt an, die Ablenkung der Lichtstrahlen beim Eintritt in ein dichteres Mittel rühre von dem größeren Widerstande her, welcher der Fortpflanzung des Lichtes in demselben geleistet wird. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist in dem dichteren Mittel kleiner als in dem dünneren. So haben die Versuche von Foucault ergeben, dass die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser zu der in

der Luft sich verhält wie 3 zu 4, was mit dem für das Wasser ermittelten Brechungsquotienten 1,333 = $\frac{4}{3}$ in auffallender Weise übereinstimmt. Auf den Grund dieses Zusammenhanges näher einzugehen, würde jedoch hier zu weit führen. Wir müssen indes darauf aufmerksam machen, dass die verschiedenen, das weiße Sonnenlicht zusammensetzenden farbigen Lichtstrahlen (die sog. Regenbogenfarben) beim Eintritt in dasselbe Mittel verschieden stark gebrochen werden, und zwar die violetten am stärksten, die übrigen in folgender Reihe weniger stark: indigo, blau, grün, gelb, orange, rot. Jede Farbe besitzt deshalb eigentlich ihren besonderen Brechungsexponenten; die oben angeführten Zahlen stellen nur sog. mittlere Brechungsexponenten dar.

Je größer der Brechungsexponent eines Körpers ist, um so weniger schräg dürfen die Lichtstrahlen, welche aus ihm in die Luft übergehen wollen, die Trennungsfläche treffen, sollen sie nicht infolge der totalen Reflexion in den Körper zurückgeworfen werden. Nun besitzt der Diamant z. B. einen sehr großen Brechungsexponenten. Die Folge davon ist, dass nur ein verhältnismäßig geringer Teil der in denselben — namentlich wenn er mit zahlreichen angeschliffenen Facetten versehen ist — eingedrungenen Lichtstrahlen direkt wieder herausgelangen kann. Die meisten Strahlen werden zuvor an der Oberfläche zurück- und in dem Steine hin- und hergeworfen, worauf zum Teil die Pracht seines Anblickes beruht.

Die bisher besprochene Art der Lichtbrechung bezeichnet man als die einfache, weil ein einzelner einfallender Strahl nach dem Durchgange durch die betreffenden amorphen oder regulär krystallisierenden Substanzen noch einfach ist.

Es giebt aber noch eine zweite Art der Lichtbrechung, und zwar bei denjenigen Krystallen, welche nicht dem regulären, sondern einem der fünf übrigen Krystallsysteme angehören. Hier ist nämlich mit dem Eintritt eines Lichtstrahles in den Krystall in der Regel eine Spaltung desselben in zwei Strahlen (doppelte Brechung) verbunden. Diese Erscheinung wurde 1669 von Erasmus Bartholin zuerst am Kalkspat (dem isländischen Doppelspat) beobachtet. Der Kalkspat ist auch heute noch das weitaus geeignetste Objekt, um daran die doppelte Lichtbrechung näher kennen zu lernen. Derselbe krystallisiert im hexagonalen System und lässt sich sehr leicht nach den Flächen eines Rhomboeders

(Fig. 22) spalten, einer Form, welche von sechs Rhomben umschlossen wird. Oben und und unten (s. Fig. 22) stoßen je drei stumpfe Kanten zu einer sog. Polecke *a* und *d* zusammen. Durch diese beiden Polecken geht die krystallographische Hauptachse.

Eine durch zwei gegenüberliegende kurze Rhombendiagonalen gelegte, daher zu den betreffenden Flächen senkrechte Ebene, z. B. die durch die vier Eckpunkte *a*, *b*, *c* und *d* gehende, nennt man einen Hauptschnitt des Rhomboeders. Lässt man nun **senkrecht** auf eine Rhomboederfläche, parallel der im Hauptschnitte *abcd* (Fig. 23) liegenden Richtung *mn* ein Lichtbündel fallen, indem man etwa durch die beiden parallelen Rhomboederflächen nach einer kleinen kreisrunden und beleuchteten Öffnung in einem dunklen

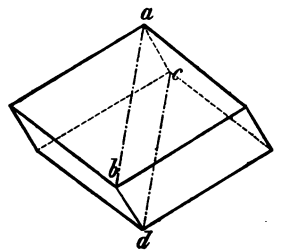


Fig. 22.

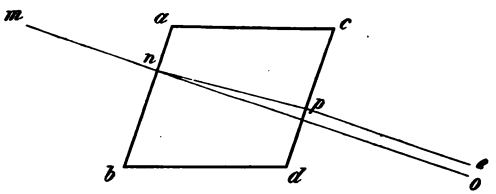


Fig. 23.

Schirm blickt, so sieht man zwei Bilder dieser Öffnung, woraus folgt, dass ein in der Richtung *mn* in den Kalkspat eintretender Lichtstrahl in zwei Strahlen zerlegt wird, von denen einer, *no*, wie ein gewöhnlicher senkrecht einfallender Lichtstrahl ungebrochen durch den Kalkspat hindurchgeht, während der zweite, gleichfalls in der Ebene des Hauptschnittes verlaufend, im Krystall sich von *n* nach *p* bewegt, dort die entgegengesetzte Brechung wie in *n* erfährt, und in der Richtung *pe* austritt. Steht die Richtung des einfallenden Lichtbüschels **schief** gegen die Rhomboederfläche, befindet sich jedoch im Hauptschnitt, so verbleiben auch die Richtungen beider Strahlen, welche nun natürlich beide eine Ablenkung erleiden, noch im Hauptschnitte. Während aber der Brechungsexponent des einen Strahles immer derselbe ist, in welcher Richtung das Licht auch einfällt, ändert sich der Brechungsexponent des zweiten Strahles mit dieser Richtung.

Betrachtet man durch den Kalkspat eine auf ein Blatt Papier gezeichnete und mit einem markierten Punkte versehene Linie, so sieht

man die Linie und natürlich ebenso den Punkt doppelt. Dreht man nun den Kalkspat, indem er auf dem Papier liegt, so verharrt das eine Bild (entsprechend dem Strahle *mo* in Fig. 23) auf seiner Stelle, gerade wie wenn man durch eine Glasplatte sieht, während das zweite (entsprechend dem Strahle *pe* in Fig. 23) sich um das erste herumbewegt. Hält man das Auge senkrecht über den Kalkspat und den Punkt, so geht die scheinbar horizontale Verbindungslinie der beiden Bilder des Punktes stets parallel der kurzen Rhombendiagonale, was der oben erwähnten Thatsache entspricht, dass die beiden Strahlen, welche aus einem senkrecht auffallenden Strahle entstehen, in der Ebene des Hauptschnittes verlaufen. Auch fällt dann das eine Bild der hinreichend langen Linie mit den beiderseitig unter dem Kalkspat vorstehenden Teilen derselben zusammen.

Da nun von den beiden, durch die doppelte Brechung entstehenden Strahlen der eine (in Fig. 23 *mo*) den gewöhnlichen Brechungsgesetzen folgt, so nennt man ihn den ordentlichen (ordinären), während man den andern (*pe*), weil er anderen Gesetzen gehorcht, als den außerordentlichen (extraordinären) bezeichnet. Der außerordentliche Strahl braucht auch nicht, wie es beim ordentlichen immer der Fall ist, mit dem einfallenden Strahle und dem Einfallslote in einer Ebene zu liegen. Er thut dies jedoch, wie bemerkt, stets dann, wenn der einfallende Strahl die Rhomboederfläche innerhalb des zu ihr senkrechten Hauptschnittes trifft. Der ordentliche Strahl besitzt beim Kalkspat einen größeren Brechungsexponenten als der außerordentliche, doch ändert sich, wie gesagt, der Brechungsexponent des außerordentlichen Strahles mit der Richtung des einfallenden Lichtes. Er nähert sich in seiner Größe demjenigen des ordentlichen Strahles um so mehr, je mehr die Richtung des eintretenden Lichtes der Richtung der krystallographischen, durch die Ecken *a* und *d* (Fig. 22) gehenden Hauptachse nahe kommt.

Schleift man an einem Rhomboeder von Kalkspat die beiden Polecken so ab, dass an ihre Stelle zwei zur Hauptachse senkrechte Flächen, d. s. Basisflächen, treten und sieht nun gerade aus durch diese beiden Flächen nach einer hellen Öffnung in einem dunklen Schirm oder nach einem dunklen Punkte, so erscheinen dieselben nur einfach. Man erblickt aber wieder zwei Bilder, wenn man schief durch den Krystall hindurchsieht. Hieraus folgt, dass in der Richtung parallel zur Hauptachse nur einfache Licht-

brechung stattfindet. In dieser Richtung ist der Brechungsexponent des außerordentlichen Strahles demjenigen des ordentlichen vollkommen gleich. Solche Richtungen, in denen also bei sonst doppeltbrechenden Krystallen nur einfache Brechung stattfindet, bezeichnet man als optische Achsen. Der Kalkspat und ebenso jeder dem hexagonalen oder dem quadratischen System angehörende Krystall besitzt nur eine solche optische Achse; sie fällt mit der krystallographischen Hauptachse*) zusammen. Der Brechungsexponent des außerordentlichen Strahles weicht von dem des ordentlichen am meisten ab, wenn der erstere in einer zur optischen Achse senkrechten Richtung durch den Krystall hindurchgeht, und man bestimmt deshalb seine Größe auch für diesen Fall. Dabei zeigt sich jedoch der Unterschied, dass bei gewissen Krystallen, wie beim Kalkspat, der Brechungsexponent des ordentlichen Strahles größer ist, als der des außerordentlichen (beim Kalkspat ist der erstere, kurz mit ω bezeichnet, gleich 1,654, der letztere, mit ε bezeichnet, gleich 1,483), während bei anderen Krystallen, wie bei dem gleichfalls im hexagonalen System krystallisierenden Quarz, das Umgekehrte stattfindet (beim Quarz ist der Brechungsexponent $\omega = 1{,}548$, ε hingegen $= 1{,}558$, also größer als ω). Die erste Klasse von, dem hexagonalen oder quadratischen System angehörigen Krystallen bezeichnet man als optisch negativ, die zweite Klasse als optisch positiv. Demnach ist der Kalkspat optisch negativ, der Quarz optisch positiv. Je größer der Unterschied zwischen den beiden Brechungsexponenten ist, um so deutlicher lässt sich die Doppelbrechung direkt beobachten. Beim Kalkspat ist dieser Unterschied sehr bedeutend, weshalb er sich zum Studium der besprochenen Erscheinungen vorzüglich eignet, beim Quarz ist die Differenz eine viel geringere, weshalb man an ihm die Doppelbrechung auch nur an sehr dicken Stücken, an dünneren nur unter gewissen günstigen Verhältnissen direkt wahrnehmen kann. Im allgemeinen bedient man sich zur Ermittelung der Doppelbrechung

*) Es sei bei dieser Gelegenheit bemerkt, dass auch die Hauptachse, wie jede krystallographische Achse, in Wirklichkeit keine einzelne Linie, sondern vielmehr eine Richtung darstellt, welcher im Krystall unendlich viele parallele Linien entsprechen. Ebenso ist eine Achsenebene keine einzelne Ebene, sondern eine Richtung, welcher unendlich viele parallele und gleichwertige Ebenen entsprechen.

besonderer Apparate, auf welche wir bei einer späteren Gelegenheit zurückkommen werden.

Ohne dass es uns möglich wäre, an dieser Stelle eine vollständige, auf die neueren Annahmen über das Wesen des Lichtes gegründete Erklärung der optischen Erscheinungen an Krystallen, speziell der Doppelbrechung zu geben, da uns dies viel zu weit führen würde, müssen wir hier doch wenigstens einige bezügliche Bemerkungen und Erläuterungen einschalten. Man betrachtet jetzt das Licht allgemein als eine wellenförmig fortschreitende Bewegung eines ungemein feinen Stoffes, welcher den ganzen Weltraum erfüllt, und den man als Lichtäther bezeichnet. Dieser Stoff ist nicht, wie die übrigen uns bekannten Stoffe, absperrbar und wägbar, er kann auch auf keine Weise direkt nachgewiesen werden; man nimmt seine Gegenwart nur an, weil ohne eine solche Annahme die Erscheinungen des Lichtes nicht oder nur gezwungen zu erklären sein würden. Die Teilchen des Äthers geraten nun, von dem leuchtenden Körper dazu veranlasst, in Schwingung, d. h. sie bewegen sich von ihrer ursprünglichen Lage aus und immer wieder nach derselben zurückkehrend, resp. dieselbe überschreitend hin und her, und diese Bewegung teilt sich mit außerordentlicher Geschwindigkeit den benachbarten Ätherteilchen mit. Auf diese Weise entsteht eine wellenförmige Bewegung, welche auch den allgemeinen Gesetzen einer Wellenbewegung folgt. Von einer spiegelnden Ebene werden die geradlinig fortschreitenden Wellen, d. s. die Lichtstrahlen, unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem sie auffallen, beim schrägen Eintritt in ein dichteres oder dünneres Mittel, worin sie langsamer oder schneller fortschreiten als in dem vorherigen, werden sie von ihrer Richtung abgelenkt oder gebrochen. Man nimmt nun an, dass bei dem gewöhnlichen Lichte die Schwingungen der Ätherteilchen zwar immer senkrecht zur Richtung der Strahlen geschehen, dass sie aber in jedem Augenblicke nach einer anderen derartigen Richtung, deren es ja unzählige giebt, erfolgen, mit anderen Worten, dass die Schwingungsrichtung der Ätherteilchen innerhalb der zum Strahle senkrechten Lage sich fortwährend ändert. Kommt ein solcher Strahl etwa aus der Luft in ein anderes einfachbrechendes Mittel, wie Wasser oder Steinsalz, so wird er zwar, falls er nicht senkrecht auffällt, abgelenkt, allein der genannte Wechsel in der Schwingungsrichtung der Ätherteilchen dauert fort. Auch ist es in Bezug auf die Fort-

pflanzungsgeschwindigkeit der Strahlen gleichgültig, in welcher Richtung die Schwingungen der Ätherteilchen in einem einfachbrechenden Mittel stattfinden. Die Schwingungen erfolgen nach allen Richtungen senkrecht zu der des Strahles mit gleicher Leichtigkeit. Ganz anders, wenn der Strahl in einen doppeltbrechenden Körper, etwa in einen Krystall des hexagonalen oder quadratischen Systems, eintritt. In einem solchen Krystalle ist, wie man annimmt, der Äther nach verschiedenen Richtungen ungleich elastisch, d. h. er führt seine Schwingungen nach denselben mit ungleicher Leichtigkeit oder Geschwindigkeit aus. Infolge dessen wird, was jedoch hier nicht bewiesen werden kann, der Lichtstrahl bei seinem Eintritt in den Krystall in zwei Strahlen zerlegt, wobei die Ätherteilchen eines jeden derselben alle in derselben Richtung schwingen, die Schwingungsrichtungen beider Strahlen aber auf einander senkrecht stehen. Wegen der für die beiden Strahlen verschiedenen Elastizität des Äthers pflanzen sie sich auch mit verschiedener Geschwindigkeit in dem Krystall fort, haben demnach auch einen verschiedenen Brechungsexponenten und entfernen sich, je weiter sie im Krystall fortschreiten, immer mehr von einander. Lichtstrahlen, bei welchen im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Lichte die Schwingungen der Ätherteilchen stets in derselben Richtung geschehen, nennt man polarisierte Strahlen. Man kann also von den beiden, durch die doppelte Brechung aus einem einfachen entstandenen Strahlen sagen, sie seien senkrecht zu einander polarisiert.

Man hat gefunden, dass beim Kalkspat nicht nur die drei auf den Rhomboederflächen senkrechten und dabei durch die kurze Rhombendiagonale resp. die Hauptachse gehenden, sondern überhaupt alle durch diese Achse gelegten Ebenen die Eigenschaften eines optischen Hauptschnittes besitzen, d. h. dass ein Strahl, welcher in einer solchen Ebene auf eine zu ihr senkrechte am Krystall vorhandene (oder künstlich angeschliffene) Fläche auffällt, in zwei Strahlen zerlegt wird, welche gleichfalls in jener Ebene verlaufen. Auch verhalten sich alle derartigen Ebenen insofern unter sich gleich, als Strahlen, die unter dem nämlichen Winkel auffallen, innerhalb jeder derselben bei der Brechung gleich stark abgelenkt werden. Das Gesagte gilt aber nicht nur von den Krystallen des Kalkspats, sondern von allen Krystallen des hexagonalen und quadratischen Systems: jede durch die Hauptachse gelegte Ebene ist ein optischer

Hauptschnitt. In jedem solchen Hauptschnitte ändert sich der Brechungsexponent des außerordentlichen Strahles mit der Neigung gegen die Hauptachse in gleicher Weise, während der des ordentlichen in allen Hauptschnitten und in jeder Richtung innerhalb eines solchen seinen Wert unverändert beibehält.

Man führt dies darauf zurück, dass die Elastizität des Äthers in den hexagonalen und quadratischen Krystallen nach allen Richtungen, welche senkrecht zur Hauptachse stehen, die gleiche sei, dass dieselbe hingegen mit der Annäherung an die Richtung der Hauptachse größer oder kleiner werde, je nachdem der betreffende Krystall ein optisch negativer oder positiver ist. Die Schwingungen des ordentlichen Strahles geschehen nun stets senkrecht zur Hauptachse, wie er auch den Krystall durchlaufen möge, folglich bleiben Geschwindigkeit und Brechungsexponent bei ihm stets unverändert. Die Schwingungen des außerordentlichen Strahles finden zwar immer in der Ebene eines optischen Hauptschnittes statt, wechseln aber innerhalb desselben ihre Richtung mit der Richtung des Strahles, da sie stets zu letzterer senkrecht sind. Diese Schwingungen können also in allen Richtungen geschehen, von der mit der Hauptachse parallelen bis zu der dazu senkrechten. Daher kommt es, dass die Geschwindigkeit und der Brechungsexponent des außerordentlichen Strahles im Gegensatz zum ordentlichen sich innerhalb eines Hauptschnittes mit der Richtung des Strahles selbst fortwährend ändern. Der Unterschied beider Brechungsexponenten ist am größten, wenn der außerordentliche Strahl in einer zur Hauptachse senkrechten Richtung durch den Krystall geht, seine Schwingungen geschehen dann parallel mit der Hauptachse; die Abweichung wird um so geringer, je kleiner der Winkel ist, welchen der außerordentliche Strahl mit der Hauptachse einschließt, seine Schwingungen nähern sich dann mehr und mehr der zur Hauptachse senkrechten Richtung. Pflanzt sich endlich der außerordentliche Strahl parallel zur Hauptachse fort, so müssen die Ätherteilchen bei ihm senkrecht zur Achse schwingen, also gerade so wie beim ordentlichen Strahl. Die Geschwindigkeit und die Brechungsexponenten sind demnach jetzt für beide Strahlen gleich geworden; es findet nun keine doppelte, sondern nur einfache Brechung statt.

Die Krystalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems zeigen gleichfalls doppelte Lichtbrechung, allein sie unterscheiden

sich von denjenigen des hexagonalen und quadratischen Systems dadurch, dass bei ihnen die Elastizität des Äthers nach drei auf einander senkrechten Richtungen (den Elastizitätsachsen) einen größten, kleinsten und mittleren Wert hat, und dass die Elastizität nach irgend einer anderen Richtung von deren Lage zu diesen Elastizitätsachsen abhängig ist. Die Verhältnisse sind also hier weit verwickelter als bei den hexagonalen oder quadratischen Krystallen.

Daher kommt es, dass von den beiden durch die doppelte Brechung entstehenden Strahlen hier keiner mehr den gewöhnlichen Brechungsgesetzen folgt, dass es also keinen ordentlichen Strahl mehr giebt. Beide Strahlen ändern ihre Geschwindigkeit und ihren Brechungsexponenten mit der Richtung. Auch besitzen die Krystalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems nicht nur eine Richtung, nach welcher nur einfache Brechung stattfindet, sondern deren zwei, sie sind optisch zweiachsig. Die Ebene, in welcher die beiden optischen Achsen liegen, die optische Achsenebene, hat bei den drei genannten Systemen eine im allgemeinen verschiedenartige Lage. Bei den rhombischen Krystallen fällt sie immer mit einer der drei krystallographischen Achsenebenen (*a b*, *a c* oder *b c*) zusammen. Bei den monoklinen Krystallen fällt sie entweder mit der Achsenebene *a c*, also der in diesem System einzigen Symmetrieebene zusammen, oder sie steht auf derselben senkrecht, während sie mit der Vertikalachse *c* irgend einen für den betreffenden Krystall charakteristischen Winkel bildet. Bei den Krystallen des triklinen Systems endlich besitzt die optische Achsenebene keine irgendwie im voraus bestimmbare, überhaupt keine krystallographisch ausdrückbare Lage. Diese Verhältnisse sind sehr wichtig für die Ermittelung des Systems eines Krystalls aus seinen optischen Eigenschaften. Auch hierauf werden wir später des Näheren zurückkommen.

Eine Eigenschaft der Krystalle, welche manchmal die Bedeutung eines charakteristischen Kennzeichens erlangt, ist der Glanz derselben. Er beruht auf der spiegelnden Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes an den mehr oder weniger glatten Krystallflächen. Man unterscheidet verschiedene Arten des Glanzes, insbesondere den Metallglanz, den Diamant-, Glas- und Fettglanz, den Perlmutter- und Seidenglanz. Der Metallglanz ist der stärkste und kommt nur an völlig undurchsichtigen Krystallen, wie z. B. am Schwefelkies, Gold u. s. w. vor. Der Diamantglanz tritt an

durchsichtigen bis, wenn auch nur in sehr dünnen Schichten, durchscheinenden Krystallen, aber immer nur an solchen auf, welche das Licht stark brechen. Am häufigsten erscheint der Glasglanz, und zwar bei durchsichtigen bis durchscheinenden Krystallen von verhältnismäßig schwachem Lichtbrechungsvermögen, wie beim Quarz. Der Fettglanz wird manchmal auf Bruchflächen wahrgenommen; so beim Schwefel, dessen Krystallflächen hingegen oft Diamantglanz zeigen. Perlmutterglanz ist solchen Krystallflächen eigen, welchen eine vollkommene Spaltbarkeit parallel geht. Er hängt mit einer im Innern des Krystalles schon eingetretenen Trennung nach der Spaltungsrichtung zusammen. Ein gutes Beispiel dafür liefert der nach der Basis so leicht spaltbare Glimmer. Der Seidenglanz endlich tritt nicht an einheitlichen Krystallen, sondern an aus feinen Krystallfasern bestehenden krystallinischen Massen auf, wie am Fasergyps, welcher wegen seines Glanzes zu künstlichen Perlen verschliffen wird.

Was die Farbe der Krystalle, insbesondere der in der Natur vorkommenden, betrifft, so sind zwei Fälle zu unterscheiden: entweder ist sie eine Eigenfarbe, welche den betreffenden Krystallen als solchen eigentümlich ist, oder sie ist auf fremde, oft nur in ganz geringer Menge vorhandene Beimengungen zurückzuführen. Diese Beimengungen wurden bei der Bildung der Krystalle in die Masse derselben mit aufgenommen. Dabei verteilte sich die färbende Substanz gleichmäßig durch den ganzen Krystall, oder es wurden nur gewisse Teile oder Schichten desselben gefärbt. Ja, es kann vorkommen, dass ein solcher Krystall aus Teilen oder Schichten von verschiedener Färbung besteht. Während die Eigenfarbe gleichartiger Krystalle stets dieselbe ist und solche Krystalle niemals farblos erscheinen können, kann bei den gefärbten je nach der Natur der aufgenommenen färbenden Substanz die Farbe sehr wechseln und es kann natürlich ebenso gut vorkommen, dass Krystalle der gleichen Art ungefärbt, farblos auftreten. Die färbenden Beimengungen bestehen hauptsächlich aus Eisen-, Mangan- und Chromverbindungen, und zwar färben Eisenverbindungen gelb, braun, grün, rot, schwarz, Manganverbindungen violett oder rötlich, Chromverbindungen rot, grün oder gelb. Zuweilen besteht der Farbstoff aus einer sog. organischen, Kohlenstoff und Wasserstoff enthaltenden Verbindung (vgl. folgendes Kapitel).

Während z. B. die Krystalle von Gold, Kupfer, Malachit (grün)

und Schwefel eine Eigenfarbe besitzen, sind die an sich farblosen Krystalle von Flussspat, Quarz, Korund, Topas u. a. oft durch Beimengungen gefärbt. Die Krystalle des Flussspats, welcher wegen der Schönheit und Mannigfaltigkeit seiner Farben von den alten Bergleuten Erzblume genannt wurde, erscheinen rot, gelb, grün, blau, violett bis fast schwarz. Nur selten findet man farblose Krystalle dieses Minerals. Dazu kommt, dass er manchmal eine prachtvolle Fluorescenz zeigt, d. h. dass er im durchfallenden Lichte anders gefärbt erscheint, als im auffallenden. Gewisse Flussspatkrystalle sehen im auffallenden, reflektierten Lichte violblau, im durchfallenden (beim Hindurchblicken) hingegen meergrün aus. Merkwürdig ist, dass die Farben des Flussspats beim Erwärmen verschwinden, was jedenfalls auf einer Veränderung der färbenden Substanz beruht. Auch der Diamant, welcher uns meist durch seine Klarheit und »reinstes Wasser« in Erstaunen setzt, tritt manchmal gefärbt, gelb, grün, blau, rot, selten sogar schwarz auf.

Die Farbe der undurchsichtigen Krystalle ist wie die aller undurchsichtigen Körper darauf zurückzuführen, dass von den verschiedenfarbigen im weißen Sonnenlichte vereinigten Strahlen (den Regenbogenfarben) jedesmal nur gewisse an der Oberfläche zurückgeworfen, die anderen aber verschluckt oder absorbiert werden. Die Farbe der durchsichtigen Krystalle entsteht dadurch, dass von den in dieselben eintretenden Strahlen ebenfalls nur gewisse hindurchgelassen, die übrigen aber absorbiert werden. Erstere geben dann die Farbe des Krystalles. Da nun die Krystalle des regulären Systems sich gegen das Licht nicht nur hinsichtlich der Brechung sondern auch hinsichtlich der Absorption nach allen Richtungen gleich verhalten, so muss ein solcher Krystall, wenn er durchsichtig und gefärbt ist, in jeder Richtung betrachtet die nämliche Farbe zeigen. Ganz anders bei den doppeltbrechenden, optisch einachsigen Krystallen des hexagonalen und quadratischen Systems. Hier ist, genau den Brechungsverhältnissen resp. der Elastizität des Äthers entsprechend, die Absorption nach allen Richtungen senkrecht zur Hauptachse dieselbe, aber verschieden nach der Richtung parallel zur Hauptachse. Daher kommt es, dass solche Krystalle nach allen Richtungen senkrecht zur Hauptachse betrachtet gleichgefärbt, parallel zur Hauptachse hingegen anders oder in anderem Grade gefärbt erscheinen. Freilich ist dieser Unterschied an verschiedenartigen Krystallen ungleich deutlich wahrzunehmen. Gewisse Kry-

stalle des hexagonalen Berylls z. B. erscheinen blassgrün, wenn man senkrecht zur Achse, himmelblau, wenn man parallel zur Achse hindurchsieht. Eine Kugel, aus einem solchen Krystall geschliffen, liefert nach den genannten Richtungen blassgrün und himmelblau, in allen anderen Richtungen aber eine Mischfarbe aus diesen beiden. Man bezeichnet diese Erscheinung als Dichroismus (Zweifarbigkeit). Wieder anders verhalten sich die optisch zweiachsigen, also die Krystalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems. Entsprechend den drei verschiedenen optischen Elastizitätsachsen giebt es hier drei aufeinander senkrechte Richtungen, in welchen sie beim Hindurchsehen eine wesentlich andere Farbe zeigen. Hier haben wir also keinen Dichroismus, sondern einen Trichroismus. Besonders deutlich kann man denselben an gewissen Krystallen des rhombischen Minerals Cordierit beobachten. Schleift man aus einem solchen Krystalle einen Würfel, so dass je zwei gegenüberliegende Seiten desselben einer krystallographischen Achsenebene parallel gehen, und blickt der Reihe nach durch je ein Flächenpaar, so nimmt man die Farben dunkelblau, graublau und gelb wahr.

Dreht man einen dünnsäulenförmigen Krystall des monoklinen Epidots (von Sulzbach), dessen größte Ausdehnung parallel der Achse *b* geht, um diese Achse und sieht senkrecht dazu hindurch, so bemerkt man, dass die Farbe mit der veränderten Richtung allmählich von dunkelgrün in gelbbraun übergeht, und umgekehrt. Stellt man sich eine Platte senkrecht zur Längsrichtung des Krystalles dar und blickt hindurch, so sieht man eine gelbgrüne Farbe.

Die Farbe des Pulvers, welches man durch Streichen eines Krystalles resp. eines Minerals über eine weiße rauhe Fläche, z. B. eine Platte von Porzellan-Biskuit, erhält, nennt man den Strich desselben. Während nun farblose Krystalle einen weißen und durch fremde Beimengungen gefärbte meist einen weißen oder schmutzigweißen Strich zeigen, kommt den eigenfarbigen ein Strich von bestimmter Farbe zu, welcher zu den Eigentümlichkeiten derselben gehört. Bei vielen eigenfarbigen Krystallen weicht der Strich mehr oder weniger von der Eigenfarbe ab. So zeigt z. B. der eisenschwarze Eisenglanz einen kirschroten, der messinggelbe Kupferkies einen grünlichschwarzen Strich.

Die Wärmestrahlen werden in ganz ähnlicher Weise wie die Lichtstrahlen von den Flächen der Krystalle reflektiert oder

beim Eintritt in dieselben gebrochen. Wichtiger ist das Vermögen gewisser Krystalle, die Wärmestrahlen leicht durchzulassen oder zurückzuhalten. Hiernach teilt man dieselben in diathermane und athermane ein. Zu den am meisten diathermanen gehören diejenigen des Steinsalzes. Auch dunkler, fast undurchsichtiger Bergkrystall ist diatherman, woraus hervorgeht, dass diese Eigenschaft nicht von der Durchsichtigkeit des betreffenden Körpers abhängt. Atherman sind z. B. Alaunkrystalle und Eis.

Auch hinsichtlich der Fähigkeit, die Wärme zu leiten, lassen sich bei den verschiedenen Krystallen wesentliche Unterschiede erkennen. Diejenigen der gediegenen Metalle (Gold, Silber, Kupfer) leiten die Wärme am besten, weniger gut z. B. solche von Quarz oder Kalkspat, noch schlechter solche von Gyps. In einem Krystalle des regulären Systems wird, ebenso wie in einem amorphen Körper, die Wärme nach verschiedenen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fortgeleitet. Anders bei denjenigen der übrigen Systeme. Überzieht man z. B. eine dünne Spaltungsplatte des monoklinen Gyps auf einer Seite mit Wachs, hält dann eine eiserne glühende Spitze an die unbedeckte Seite der Platte, so bildet sich in der Wachsschicht eine zierliche Schmelzellipse, deren Form die nach verschiedenen Richtungen ungleiche Leitungsfähigkeit deutlich erkennen lässt (bei einem regulären Krystall würde das Wachs anstatt in Form einer Ellipse in der eines Kreises schmelzen, weil die Wärme nach allen Seiten gleich schnell fortschreitet). Der hexagonale Bergkrystall besitzt in der Richtung seiner Hauptachse ein Wärmeleitungsvermögen, welches nur von demjenigen weniger Metalle übertroffen wird. Man bemerkt dies schon, wenn man die nach der Hauptachse gestreckten Bergkrystallprismen mit einem Ende ins Feuer hält; sehr bald hat sich auch das andere Ende erhitzt.

Bekanntlich fühlt sich von zwei Körpern, deren Temperatur unter derjenigen der Hand liegt, der bessere Leiter kälter an, weil er der Hand schneller Wärme entzieht. Dies giebt ein Mittel, um Bergkrystall oder Edelsteine von Nachahmungen, d. s. Glasflüsse, welche die Wärme schlechter leiten, durch das Gefühl zu unterscheiden.

Auf das elektrische Verhalten gewisser Krystalle werden wir später gelegentlich zu sprechen kommen.

VI.

Chemie der Krystalle: Elemente und Verbindungen. Atom und Molekül. Wertigkeit. Wichtige Gruppen chemischer Verbindungen.

Wir haben im ersten Kapitel gesehen, dass die Krystalle aus einheitlicher, gleichartiger Substanz bestehen. Die Substanz eines Krystalles ist nun entweder ein chemisch einfacher Stoff, ein Grundstoff oder Element, oder eine aus zwei resp. mehreren Elementen bestehende Verbindung.

Als Elemente bezeichnet der Chemiker solche Stoffe, welche sich auf keinerlei Weise in andere einfachere Stoffe zerlegen lassen. Man kennt bis jetzt etwa 68 Elemente. Bei gewöhnlicher Temperatur gasförmige Elemente sind z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, — flüssige: Brom, Quecksilber, — feste: Schwefel, Phosphor, Kohlenstoff und sämtliche Metalle (mit Ausnahme des Quecksilbers).

Eine chemische Verbindung entsteht, wenn sich zwei oder mehrere Elemente zu einer neuen gleichartigen Substanz vereinigen. Die Verbindung zeigt wesentlich andere Eigenschaften als die sie zusammensetzenden Elemente. Der Schwefelkies z. B., ein messinggelbes, metallglänzendes, häufig in Würfeln (Fig. 2) krystallisierendes Mineral, besteht aus den beiden Elementen Eisen und Schwefel. Er weicht in seinen Eigenschaften wesentlich von den genannten Elementen ab. In seiner Substanz erkennt man auch bei mikroskopischer Betrachtung weder Eisen noch Schwefel, erst eine chemische Zerlegung lehrt, dass sie aus diesen beiden Stoffen zu-

sammengesetzt ist. Das Steinsalz besteht aus dem bei gewöhnlicher Temperatur als grünliches Gas auftretenden Elemente Chlor und aus dem Metalle Natrium; beide besitzen also ganz andere Eigenschaften als ihre Verbindung.

Vereinigen sich zwei (oder mehrere) Elemente zu einer bestimmten neuen Substanz, so geschieht dies stets nach unveränderlichen Gewichtsverhältnissen, nach den sogen. Verbindungsgewichten. Als Verbindungsgewichte oder Aequivalente bezeichnet der Chemiker diejenigen, mit Hilfe der chemischen Zerlegung (Analyse) gefundenen Zahlen, welche angeben, wie viel Gewichtsteile der verschiedenen Elemente sich mit einem Gewichtsteil Wasserstoff vereinigen. Diese Zahlen geben aber zugleich das Verhältnis an, in welchem sich irgend zwei beliebige Elemente unter einander verbinden. Das Wasser ist z. B. eine chemische Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff. Durch Vereinigung beider kann man leicht künstlich Wasser darstellen, und es verbinden sich dabei stets 8 Gewichtsteile Sauerstoff mit 1 Gewichtsteil Wasserstoff. Umgekehrt liefern 9 Gewichtsteile Wasser bei der chemischen Zerlegung stets 8 Gewichtsteile Sauerstoff und 1 Gewichtsteil Wasserstoff. 35,4 Gewichtsteile Chlor verbinden sich mit 1 Gewichtsteil Wasserstoff zu 36,4 Gewichtsteilen Salzsäure. Verbindet sich Chlor mit Natrium zu Koch- oder Steinsalz (Chlornatrium), so kommen stets auf 35,4 Gewichtsteile Chlor 23 Gewichtsteile Natrium.

Man nimmt nun an, dass die Elemente aus kleinsten Teilchen oder Atomen bestehen, welche bei der Vereinigung zu der neuen Substanz zusammentreten; die Gewichte dieser einzelnen Atome der verschiedenen Elemente stehen entweder in demselben Verhältnisse zu einander wie jene Verbindungsgewichte, oder es ist wenigstens eine einfache Beziehung zwischen beiden vorhanden. Da man jedoch das absolute Gewicht der Atome der verschiedenen Elemente wegen der Kleinheit dieser Teilchen nicht feststellen kann, wie man überhaupt niemals ein einzelnes Atom vor sich hat, so begnügt man sich damit, das relative Gewicht derselben zu ermitteln, d. h. diejenigen Zahlen, welche angeben, wieviel mal schwerer die Atome der verschiedenen Elemente sind als ein Atom eines Elementes, welches man zum Ausgangspunkte wählt, wiederum des Wasserstoffs. Man setzt also das Atomgewicht des Wasserstoffs = 1 und giebt an, wieviel mal so schwer das Atom irgend eines anderen Elementes ist.

Von welchen Grundsätzen und Thatsachen ausgehend man die relativen (auf Wasserstoff als Einheit bezogenen) Atomgewichte der Elemente ermittelt hat, dies darzulegen würde hier zu weit führen; es muss deshalb in dieser Hinsicht auf die Lehrbücher der Chemie verwiesen werden.

Man hat nun z. B. gefunden, dass das Atomgewicht des Chlors = 35,4, des Natriums = 23, des Sauerstoffs = 16, des Schwefels = 32, des Eisens = 56 ist, d. h. ein Atom Chlor ist 35,4 mal, ein Atom Natrium 23 mal, ein Atom Sauerstoff 16 mal u. s. w. so schwer wie ein Atom Wasserstoff. Wie man sieht, stimmen für Chlor und Natrium die Atomgewichte mit den oben angegebenen Verbindungsgewichten überein, während das Atomgewicht des Sauerstoffs doppelt so gross ist als sein Verbindungsgewicht, demnach wenigstens in einem sehr einfachen Verhältnisse zu demselben steht. Mit Hilfe dieser Atomgewichte kann man nun z. B. leicht die Zusammensetzung des Steinsalzes ausdrücken. Dasselbe enthält, wie gesagt, auf 23 Gewichtsteile Natrium 35,4 Gewichtsteile Chlor; man kann also sagen, es sei eine Verbindung von je einem Atom Natrium mit einem Atom Chlor. Der Schwefelkies enthält auf 56 Gewichtsteile Eisen 64 Gewichtsteile Schwefel, also auf ein Atom Eisen zwei Atome (= 2.32) Schwefel. 9 Gewichtsteile Wasser bestehen aus 8 Gewichtsteilen Sauerstoff und 1 Gewichtsteile Wasserstoff oder, was dasselbe ist, 18 Gewichtsteile Wasser enthalten 16 Gewichtsteile Sauerstoff und 2 Gewichtsteile Wasserstoff. Letztere Zahlen entsprechen aber dem Gewichtsverhältnisse von einem Atom Sauerstoff und zwei Atomen Wasserstoff. Das Verbindungsgewicht 8 des Sauerstoffs würde man nur durch ein halbes Atom ausdrücken können, was aber unzulässig ist, da die Atome unteilbar sind.

Es kann nun aber auch der Fall sein, dass sich zwei Elemente nach mehreren bestimmten Verhältnissen vereinigen, wobei natürlich jedesmal eine andere Verbindung entsteht. So giebt es z. B. außer dem Schwefelkies eine Verbindung von Schwefel und Eisen, welche auf 56 Gewichtsteile Eisen nicht 64, sondern nur 32 Gewichtsteile Schwefel, also auf ein Atom Eisen nur ein Atom Schwefel enthält und sich in ihren Eigenschaften wesentlich vom Schwefelkies unterscheidet. Der Chemiker bezeichnet sie als Einfach-Schwefeleisen, die Substanz des Schwefelkieses hingegen als Zweifach-Schwefeleisen.

Während man die kleinsten Teilchen eines Elementes, welche in eine chemische Verbindung eintreten, als Atome bezeichnet,

nennt man die kleinsten Teilchen einer chemischen Verbindung Moleküle. Das Molekül einer Verbindung besteht also aus zwei oder mehr Atomen verschiedener Elemente. Dem oben Bemerkten entsprechend sagt man, ein Molekül Wasser bestehe aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff, ein Molekül Steinsalz oder Chlornatrium aus einem Atom Chlor und einem Atom Natrium u. s. f.

Unter den Molekülen stellt man sich die kleinsten Teilchen vor, zu welchen man bei fortgesetzter mechanischer Teilung (Zerschneiden, Zerstoßen, Zerreiben) eines Stoffes schließlich gelangen würde. Damit soll aber nicht gesagt sein, dass es jemals gelungen sei, ein einzelnes Molekül zu erhalten; auch die kleinsten Teilchen, welche unserer Wahrnehmung zugänglich sind, betrachtet man noch als ein Aggregat oder eine Anhäufung von Molekülen. Der Chemiker spricht aber nicht nur von Molekülen der Verbindungen, sondern auch von solchen der Elemente, indem er annimmt, dass die kleinste Menge eines Elementes, welche für sich im unverbundenen Zustande existieren kann, verschieden sei von der kleinsten Menge desselben, welche in dem Molekül irgend einer Verbindung vorkommen kann. Die letztere stellt das Atom des Elementes dar, während die kleinste Menge im freien Zustande oder das Molekül aus mehr als einem, in der Regel aus zwei Atomen besteht. So betrachtet man auf Grund gewisser Thatsachen ein Molekül Wasserstoff als zusammengesetzt aus zwei Atomen Wasserstoff, ein Molekül Schwefel als bestehend aus zwei Atomen Schwefel u. s. w. Zwei mit einander verbundene Atome Wasserstoff resp. Schwefel stellen also die kleinste Menge der genannten Elemente dar, welche für sich im freien Zustande zu existieren vermag.

Eine Teilung, bei welcher selbst die Moleküle irgend einer Verbindung in ihre Bestandteile, d. s. die Atome, aufgelöst werden, ist nicht mehr eine mechanische, sondern eine chemische. Denkt man sich z. B. die mechanische Teilung einer gewissen Menge von Chlornatrium bis zu den einzelnen Molekülen fortgesetzt, so hat man immer noch Teilchen desselben Stoffes vor sich; werden aber auch noch diese einzelnen Moleküle gespalten, so erhält man wesentlich neue Stoffe, nämlich Chlor und Natrium.

Um die Elemente wie auch ihre Verbindungen in kurzer und übersichtlicher Weise bezeichnen zu können, stellt man die ersteren durch Symbole, das sind meist die Anfangsbuchstaben ihrer latei-

nischen Namen, dar. So ist z. B. *H* das Symbol für Wasserstoff (Hydrogenium), *O* für Sauerstoff (Oxygenium), *S* für Schwefel (Sulphur) u. s. w. Diese Symbole sollen aber, und darin liegt ihre hauptsächliche Bedeutung, gleichzeitig ein Atom des betreffenden Elementes ausdrücken. So stellt *H* ein Atom oder einen Gewichtsteil Wasserstoff, *O* ein Atom oder 16 Gewichtsteile Sauerstoff, *S* ein Atom oder 32 Gewichtsteile Schwefel dar. In der folgenden Tabelle sind sämtliche bis jetzt genauer bekannte Elemente mit ihrem Symbol und Atomgewicht*) aufgeführt und dabei die wichtigeren durch gesperrten Druck hervorgehoben.

Aluminium *Al*	27,04	Magnesium *Mg*	23,94
Antimon (Stibium) *Sb*	122,0	Mangan *Mn*	54,8
Arsen *As*	74,9	Molybdän *Mo*	95,9
Baryum *Ba*	136,86	Natrium *Na*	22,995
Beryllium *Be*	9,08	Nickel *Ni*	58,6
Blei (Plumbum) *Pb*	206,39	Niobium *Nb*	93,7
Bor *B*	10,9	Osmium *Os*	195,0
Brom *Br*	79,76	Palladium *Pd*	106,2
Cadmium *Cd*	111,97	Phosphor *P*	30,96
Cäsium *Cs*	132,97	Platin *Pt*	194,3
Calcium *Ca*	39,91	Quecksilber (Hydrargyrum) *Hg*	199,8
Cerium *Ce*	141,2	Rhodium *Rh*	104,1
Chlor *Cl*	35,37	Rubidium *Rb*	85,2
Chrom *Cr*	52,45	Ruthenium *Ru*	103,5
Didym *Di*	145,0	Sauerstoff *O*	15,96
Eisen (Ferrum) *Fe*	55,88	Scandium *Sc*	44,0
Erbium *Er*	166,0	Schwefel *S*	31,98
Fluor *F*	19,06	Selen *Se*	78,87
Gallium *G*	69,9	Silber *Ag*	107,66
Germanium *Ge*	72,32	Silicium *Si*	28,0
Gold (Aurum) *Au*	196,2	Stickstoff *N*	14,04
Indium *In*	113,4	Strontium *Sr*	87,3
Iridium *Ir*	192,5	Tantal *Ta*	182,0
Jod *J*	126,54	Tellur *Te*	127,7
Kalium *K*	39,03	Thallium *Tl*	203,7
Kobalt *Co*	58,6	Thorium *Th*	231,96
Kohlenstoff (Carbo) *C*	11,97	Titan *Ti*	50,25
Kupfer (Cuprum) *Cu*	63,18	Uran *U*	239,8
Lanthan *La*	138,5	Vanadium *V*	51,1
Lithium *Li*	7,01		

*) In den obigen Auseinandersetzungen wurden der Kürze halber für die Atomgewichte von Chlor, Eisen, Natrium, Sauerstoff und Schwefel abgerundete Zahlen gewählt.

Diese Symbole gestatten uns, auf einfache Weise die chemische Zusammensetzung einer Verbindung durch eine sogen. Formel auszudrücken. Da das Chlornatrium aus einem Atom Chlor und einem Atom Natrium besteht, so erhält es die Formel *ClNa* oder auch *NaCl*. Das Wasser, welches auf zwei Atome Wasserstoff ein Atom Sauerstoff enthält, wird durch die Formel H_2O bezeichnet, das Zweifach-Schwefeleisen (Schwefelkies) durch die Formel FeS_2. Sind nämlich von einem Elemente mehrere Atome vorhanden, so setzt man deren Zahl in kleiner Schrift dicht hinter das Symbol des betreffenden Elementes. Die quantitative chemische Analyse einer Verbindung führt nicht direkt zu der Formel derselben, sie lehrt zunächst nur, wie viel von den verschiedenen an der Verbindung beteiligten Elementen in einer bestimmten Menge, etwa in 100 Gewichtsteilen derselben, enthalten ist, also die prozentische Zusammensetzung. Jedoch kann man aus dieser leicht die Formel der Verbindung berechnen und zwar nach folgender Regel: man dividiert die prozentischen Mengen der einzelnen Elemente durch deren Atomgewicht und sieht zu, in welchem, durch einfache ganze Zahlen ausdrückbaren Verhältnisse die erhaltenen Quotienten zu einander stehen. Ein paar Beispiele werden genügen, um dies klar zu machen. Das Chlornatrium ergiebt bei der chemischen Analyse 60,64 % Chlor und 39,36 % Natrium. Man dividiert nun 60,64 durch das Atomgewicht des Chlors 35,37, und 39,36 durch das Atomgewicht des Natriums 22,995. Im ersteren Falle erhält man den Quotienten 1,71, im letzteren Falle ebenso 1,71. Da sich nun 1,71 zu 1,71 verhält wie 1 zu 1, so kommt auf ein Atom Chlor auch ein Atom Natrium und die Verbindung erhält die Formel *ClNa*. Die Substanz des Schwefelkieses besteht aus 46,63 % Eisen und 53,37 % Schwefel. Nun ist 46,63 : 55,88 = 0,83 und 53,37 : 31,98 = 1,66. Da sich 0,83 zu 1,66 verhält wie 1 zu 2, so kommen auf ein Atom Eisen zwei Atome Schwefel und der Schwefelkies erhält die Formel FeS_2.

Die Kraft der gegenseitigen Anziehung, welche die Vereinigung der chemischen Elemente zu neuen Substanzen bewirkt, nennt man Verwandtschaft oder Affinität und spricht von großer oder geringer Verwandtschaft, je nachdem ein Element sich leicht oder schwierig mit einem anderen Elemente vereinigt. So haben z. B. Schwefel und Natrium eine große Verwandtschaft zu Sauerstoff, während Chlor und die sog. edlen Metalle, wie Gold und Silber,

nur eine geringe Neigung zeigen, sich mit Sauerstoff zu verbinden. Andererseits geht z. B. Chlor sehr gern Verbindungen mit Wasserstoff oder den Metallen ein.

Vereinigt sich Chlor mit Wasserstoff, so entsteht, wie schon bemerkt, eine Substanz, welche man Chlorwasserstoff oder Salzsäure nennt; derselben kommt die Formel *HCl* zu. Es tritt also ein Atom Chlor zu einem Atom Wasserstoff. Vereinigt sich aber Sauerstoff mit Wasserstoff, so kommen (im Wasser H_2O) zwei Atome des letzteren auf ein Atom des ersteren. Man kann also sagen: das Sauerstoffatom hat die Fähigkeit, doppelt so viel Wasserstoffatome zu binden als das Chloratom, zumal man von Chlor keine weitere Wasserstoffverbindung kennt. Der Stickstoff bildet mit Wasserstoff eine Verbindung, das Ammoniak NH_3, welches auf ein Atom Stickstoff drei Atome Wasserstoff enthält; ein Atom Kohlenstoff endlich vereinigt sich mit vier Atomen Wasserstoff zu Sumpfgas CH_4.

Man drückt nun durch die Anzahl der Wasserstoffatome, mit welchen sich ein Atom eines Elementes verbinden kann, die sog. Wertigkeit oder Valenz des letzteren aus. Demnach ist Chlor einwertig, Sauerstoff zweiwertig, Stickstoff dreiwertig, Kohlenstoff vierwertig.

Von vielen Elementen kennt man aber keine Verbindung mit Wasserstoff. Man benutzt daher zur Ermittelung ihrer Wertigkeit Verbindungen mit solchen Elementen, z. B. Chlor oder Sauerstoff, deren Wertigkeit, bezogen auf Wasserstoff, man direkt bestimmen kann. So kennt man z. B. keine Verbindung von Natrium mit Wasserstoff, wohl aber, wie wir wissen, mit Chlor, und da letzteres Element einwertig ist und das Chlornatrium ein Atom Natrium und ein Atom Chlor enthält, so muss man auch das Natrium selbst als einwertig bezeichnen. Man kennt ferner eine Verbindung von Natrium mit Sauerstoff. Dieselbe wird Natriumoxyd genannt und besitzt die Formel Na_2O. Da also zwei Atome Natrium auf ein zweiwertiges Atom Sauerstoff kommen, so folgt wieder, dass das Natrium einwertig ist.

Sehr häufig kommt es vor, dass in einer chemischen Verbindung ein oder mehrere Atome eines Elementes durch andersartige Atome ersetzt werden. Wirkt z. B. Natrium auf Wasser ein, so entsteht eine neue Substanz, Natriumhydroxyd, welche aus je einem Atom Natrium, Wasserstoff und Sauerstoff besteht, also die Formel

NaHO erhält. Ein Atom Wasserstoff des Wassers ist durch ein Atom Natrium ersetzt worden, was mit der Thatsache übereinstimmt, dass das Natrium ein einwertiges Element ist. Bei solchen Ersetzungen spielt die Wertigkeit eine entscheidende Rolle. —

Nach ihrer Wertigkeit und der Ähnlichkeit ihres chemischen Verhaltens lassen sich die Elemente in natürliche Gruppen ordnen. Solche Gruppen sind z. B.

1. Einwertig: Chlor, Brom, Jod, Fluor.
2. » Kalium, Natrium, Rubidium, Cäsium, Lithium.
3. Zweiwertig: Sauerstoff, Schwefel, Selen, Tellur.
4. » Calcium, Strontium, Baryum.
5. » Magnesium, Zink, Cadmium.
6. » (in manchen Verbindungen dreiwertig): Mangan, Eisen, Chrom, Kobalt. Nickel.
7. Dreiwertig: Aluminium, Bor.
8. » (in manchen Verbindungen fünfwertig): Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, Wismut.
9. Vierwertig: Kohlenstoff, Silicium, Titan, Zinn.

Häufig spielt eine Gruppe von Atomen in Verbindungen gleichsam die Rolle eines einzelnen Atoms. Solche Gruppen nennt man Radikale. Ein Radikal ist z. B. das Ammonium NH_4, welches zwar im freien Zustande nicht existiert, in Verbindungen aber sich wie Kalium oder Natrium verhält.

Man teilt die chemischen Verbindungen ein in anorganische und organische. Anorganische Verbindungen treten in den Mineralien auf oder können daraus gewonnen werden. Die organischen Verbindungen kommen in den Pflanzen oder Tieren vor oder lassen sich aus darin auftretenden Substanzen darstellen. Viele derselben kann man aber auch künstlich aus ihren Elementen aufbauen. Alle organischen Verbindungen enthalten Kohlenstoff, weshalb man sie auch als Kohlenstoffverbindungen bezeichnet.

Zu den wichtigsten Gruppen, namentlich anorganischer chemischer Verbindungen gehören die Säuren, Basen, Metalloxyde, Schwefelmetalle und Salze.

1. Als Säuren bezeichnet man solche wasserstoffhaltige Verbindungen, welche in der Regel einen sauren Geschmack und die Eigenschaft besitzen, blauen Lackmusfarbstoff zu röten, und deren Wasserstoff leicht zum Teil oder ganz durch ein Metall ersetzt werden kann. Das Produkt einer solchen Ersetzung ist ein

Salz (s. unten). Beispiele sind Salzsäure HCl, Salpetersäure HNO_3, Schwefelsäure H_2SO_4, Phosphorsäure H_3PO_4, Kieselsäure H_4SiO_4. Je nachdem eine Säure ein, zwei, drei oder mehr Atome vertretbaren Wasserstoff enthält, bezeichnet man sie als ein-, zwei-, drei- oder mehrbasisch. Durch Verlust der Bestandteile des Wassers geht eine sauerstoffhaltige Säure in ein sog. Säure-Anhydrid (wasserfreie Säure) über; so verliert z. B. Kieselsäure beim Erhitzen zwei Molekule Wasser und verwandelt sich in Kieselsäure-Anhydrid SiO_2 (in der Natur als Quarz vorkommend). Von gewissen Säuren kennt man mit Sicherheit nur das Anhydrid, z. B. Kohlensäure-Anhydrid CO_2. Die Formel der eigentlichen Kohlensäure würde sein: H_2CO_3 $(= CO_2 + H_2O)$.

2. Basen, auch Hydroxyde genannt, sind solche wasserstoff- und metallhaltige Verbindungen, welche, falls sie in Wasser löslich sind, einen laugenartigen Geschmack und die Eigenschaft besitzen, roten Lackmusfarbstoff blau zu färben. Mit den Säuren oder Säure-Anhydriden vereinigen sie sich unter Austritt von Wasser zu Salzen. Beispiele: Kaliumhydroxyd oder Kali KHO, Natriumhydroxyd oder Natron $NaHO$, Calciumhydroxyd CaH_2O_2, Aluminiumhydroxyd $Al_2H_6O_6$.

3. Die Metalloxyde bestehen nur aus einem Metall und Sauerstoff (im weiteren Sinne bezeichnet man jede Sauerstoffverbindung eines Elementes oder Radikals als Oxyd). Metalloxyde sind z. B. Kaliumoxyd K_2O, Natriumoxyd Na_2O, Calciumoxyd CaO, Aluminiumoxyd Al_2O_3. Manche Metalloxyde gehen durch Aufnahme der Bestandteile des Wassers in Hydroxyde über. So liefert Calciumoxyd mit Wasser Calciumhydroxyd CaH_2O_2. Umgekehrt verwandelt sich Calciumhydroxyd beim Erhitzen unter Abgabe von Wasser in Calciumoxyd. Die Oxyde von Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium, Cäsium und Ammonium bezeichnet man auch als Alkalien, die von Calcium, Strontium, Baryum und Magnesium als alkalische Erden, und die von Aluminium, Beryllium, auch wohl Zirkonium als Erden. Die Oxyde von Calcium, Strontium, Baryum und Magnesium werden gewöhnlich kurz Kalk, Strontian, Baryt und Magnesia genannt. Das Aluminiumoxyd Al_2O_3 nennt man Thonerde; sie findet sich krystallisiert als Korund. Manche Metalle verbinden sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff. Man unterscheidet dann je nach dem geringeren oder größeren Sauerstoffgehalt hauptsächlich Oxydul und Oxyd, zuweilen auch

Superoxyd, z. B. Manganoxydul MnO, Manganoxyd Mn_2O_3, Mangansuperoxyd MnO_2.

4. Schwefelmetalle sind Verbindungen von Metallen mit Schwefel. Ihre Formeln kann man oft von den Formeln der Oxyde ableiten, indem man in letzteren den Sauerstoff durch Schwefel ersetzt. Von besonderer Bedeutung sind für uns die Schwefelverbindungen der sog. schweren Metalle (letztere mit einem spezifischen Gewichte über 5), z. B. Schwefelblei PbS (als Mineral Bleiglanz genannt), Schwefelquecksilber HgS (Zinnober), Schwefelzink ZnS (Zinkblende), Zweifach-Schwefeleisen FeS_2 (Schwefelkies).

5. Salze sind Verbindungen, welche am einfachsten dadurch entstehen können, dass der Wasserstoff einer Säure ganz oder teilweise durch ein Metall ersetzt wird. Sie können auch, wie bemerkt, aus der Vereinigung einer Säure oder eines Säure-Anhydrides mit einer Base (auch wohl einem Metalloxyde) hervorgehen. Auf die letztere Entstehungsweise gründet sich die im Folgenden angewandte Benennung der Salze, mit Ausnahme solcher, welche keinen Sauerstoff enthalten.

Man unterscheidet dreierlei Salze: 1. neutrale, bei welchen aller in der Säure enthaltene Wasserstoff durch Metall ersetzt ist, z. B. Chlornatrium $NaCl$ (abgeleitet von HCl), salpetersaures Kali KNO_3 (abgeleitet von HNO_3), schwefelsaurer Kalk $CaSO_4$ (abgeleitet von H_2SO_4), phosphorsaures Kali K_3PO_4 (abgeleitet von H_3PO_4); 2. saure, bei denen nur ein Teil des Wasserstoffs durch Metall vertreten ist, z. B. saures schwefelsaures Kali $KHSO_4$, saurer phosphorsaurer Kalk $HCaPO_4$; 3. basische, welche gewissermaßen als Verbindungen von neutralen Salzen mit Basen betrachtet werden können, z. B. basisch kohlensaures Kupferoxyd $Cu_2H_2CO_5$, zu betrachten als $CuCO_3$ (neutrales kohlensaures Kupferoxyd) verbunden mit CuH_2O_2 (Kupferhydroxyd).

In prächtigen Krystallen erscheinen z. B. die Salze: kohlensaurer Kalk $CaCO_3$ (im Kalkspat), schwefelsaurer Baryt $BaSO_4$ (Schwerspat).

Häufig muss man ein Salz, entsprechend der höheren Wertigkeit des betreffenden Metalls, von zwei oder mehr Molekülen der Säure ableiten, z. B. salpetersaurer Kalk CaN_2O_6 oder $Ca(NO_3)_2$ (abgeleitet vom doppelten Molekül HNO_3, wobei die beiden Wasserstoffatome durch das zweiwertige Calciumatom ersetzt werden); schwefelsaure Thonerde $Al_2S_3O_{12}$ oder $Al_2(SO_4)_3$ (abgeleitet vom

dreifachen Molekül H_2SO_4, indem zwei dreiwertige Aluminiumatome an die Stelle von sechs Wasserstoffatomen treten).

Es giebt auch Salze, welche mehr als ein Metall enthalten. Man nennt dieselben Doppelsalze und leitet ihre Formel von einem oder mehreren Molekülen einer Säure in der Weise ab, dass der darin enthaltene Wasserstoff durch die betreffenden Metalle zugleich ersetzt wird. Ein Doppelsalz ist z. B. die schwefelsaure Kali-Thonerde (Alaun) $K_2Al_2(SO_4)_4$, abgeleitet von $H_8(SO_4)_4$ d. i. viermal H_2SO_4. Doppelsalze der Kieselsäure kommen als sehr wichtige Mineralien vor.

Scheidet sich ein in Wasser gelöstes Salz infolge einer Abkühlung oder Verdunstung aus der Lösung wieder aus, so nimmt es, wie wir im zweiten Kapitel sahen, Krystallform an. Häufig verbindet sich das Salz hierbei mit einer bestimmten Menge — ein Molekül des Salzes mit einem oder mehreren Molekülen — Wasser, welches, da es gewissermaßen zur Bildung der Krystalle notwendig ist, Krystallwasser genannt wird. So enthalten die blauen Krystalle von schwefelsaurem Kupferoxyd oder Kupfervitriol 5 Moleküle Krystallwasser und besitzen demgemäß die Formel $CuSO_4 + 5\ H_2O$. Das Krystallwasser ist nur lose gebunden; meist entweicht es schon bei gewöhnlicher oder bei nicht zu hoher Temperatur allmählich wieder, wodurch die Krystalle zu einem Pulver zerfallen oder verwittern. Die blauen Krystalle von Kupfervitriol zerfallen bei vorsichtigem Erhitzen zu einem weißen Pulver, welches jedoch beim Anfeuchten unter Wiederaufnahme des Wassers wieder blau wird.

VII.

Fortsetzung: Heteromorphismus und Isomorphismus. Morphotropie. Pseudomorphosen.

Die im vorigen Kapitel erläuterten Symbole und Formeln gestatten nicht nur, in einfacher Weise ein Element zu bezeichnen oder die Zusammensetzung einer Verbindung auszudrücken, sie geben uns auch ein vortreffliches Mittel an die Hand, um den Vorgang einer chemischen Verbindung, Umwandlung oder Zersetzung übersichtlich darzustellen. Will man z. B. ausdrücken, dass sich ein Atom Chlor mit einem Atom Wasserstoff zu einem Molekül Chlorwasserstoff oder Salzsäure verbindet, so schreibt man die chemische Gleichung:

$$Cl + H = HCl.$$

Das Wasser wird durch den elektrischen Strom in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, was man durch die Gleichung ausdrückt:

$$H_2O = 2\,H + O.$$

Als weitere Übungsbeispiele können wir die chemischen Vorgänge benutzen, welche schon im zweiten Kapitel bei Besprechung der Bildung der Krystalle erwähnt wurden (vergl. S. 9 u. f.).

Durch die gegenseitige Einwirkung von Wasser und Eisenchlorid (Fe_2Cl_6) im dampfförmigen Zustande bildet sich Eisenoxyd oder Eisenglanz (Fe_2O_3) und Salzsäure nach der Gleichung:

$$Fe_2Cl_6 + 3\,H_2O = Fe_2O_3 + 6\,HCl.$$

Es wirken also je ein Molekül Eisenchlorid und drei Moleküle Wasser aufeinander ein, und es entstehen neben einem Molekül Eisenoxyd sechs Moleküle Salzsäure.

Schmilzt man die Salze Chlorbaryum ($BaCl_2$) und schwefelsaures Kali (K_2SO_4) zusammen, so setzen sich dieselben um in schwefelsauren Baryt ($BaSO_4$) und Chlorkalium (KCl), entsprechend der Gleichung:

$$BaCl_2 + K_2SO_4 = BaSO_4 + 2\,KCl.$$

Lässt man Kalkwasser, d. i. eine wässrige Lösung von Calciumhydroxyd (CaH_2O_2), an der Luft stehen, so wirkt darauf das in der Luft in geringer Menge enthaltene Kohlensäure-Anhydrid (CO_2) ein, und es bildet sich auf der Lösung eine zarte Haut von kohlensaurem Kalk ($CaCO_3$):

$$CaH_2O_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O.$$

Wie die Gleichung lehrt, entsteht neben dem kohlensauren Kalk Wasser. Treffen in einer wässrigen Lösung die beiden Salze salpetersaurer Kalk ($Ca(NO_3)_2$) und schwefelsaures Kali (K_2SO_4) zusammen, so findet eine Umsetzung statt, deren Produkte schwefelsaurer Kalk und salpetersaures Kali sind. Dieser Vorgang wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$Ca(NO_3)_2 + K_2SO_4 = CaSO_4 + 2\,KNO_3.$$

Wir gehen jetzt dazu über, zwei Erscheinungen kennen zu lernen, welche im Reiche der Krystalle eine überaus wichtige Rolle spielen, den Heteromorphismus oder Polymorphismus und den Isomorphismus. Was man zunächst unter dem ersteren versteht, werden uns am besten ein paar Beispiele zeigen.

Wir haben im zweiten Kapitel gesehen, dass man Schwefel durch Schmelzen und darauffolgendes Erkaltenlassen in nadelförmigen Krystallen erhalten kann. Diese Krystalle gehören dem monoklinen System an; im einfachsten Falle stellen sie eine vierseitige Säule oder ein Prisma dar, welches oben und unten durch eine schief geneigte Fläche (die Basis) abgeschlossen ist. Solche Krystalle erhält man jedesmal, wenn man den Versuch in der angegebenen Weise anstellt.

Löst man hingegen etwas Schwefel in Schwefelkohlenstoff CS_2, einer leicht verdunstenden Flüssigkeit, auf und lässt die Lösung an einem kühlen Orte, damit der Schwefelkohlenstoff nicht zu schnell verdunste, stehen, so scheiden sich bald Krystalle von Schwefel aus, welche schon auf den ersten Blick erkennen lassen, dass ihre Form von der oben für den aus dem geschmolzenen Zustande erstarrten Schwefel beschriebenen gänzlich abweicht. Die Krystalle

zeigen nämlich die Gestalt einer Pyramide (eigentlich Doppelpyramide), welche von acht ungleichseitigen Dreiecken umschlossen wird und dem rhombischen Krystallsystem angehört (Fig. 24). Der Schwefel kann also, je nach den äußeren Umständen, in zwei verschiedenen Krystallsystemen, dem monoklinen oder dem rhombischen, krystallisieren. Doch erstreckt sich die Verschiedenheit nicht blos auf die Krystallform, sondern auch auf die physikalischen Eigenschaften. So hat z. B. der monokline Schwefel ein spezifisches Gewicht von 1,96, der rhombische ein solches von 2,07. Man hat also im Grunde genommen, abgesehen von der stofflichen Natur, zwei gänzlich verschiedene Körper vor sich.

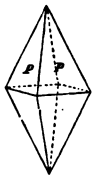


Fig. 24.

Der kohlensaure Kalk $CaCO_3$, eine im Mineralreich sehr verbreitete Substanz, tritt in zweierlei Krystallen auf, nämlich in solchen, welche dem hexagonalen System angehören und das spezifische Gewicht 2,7 besitzen, und in solchen, welche dem rhombischen System angehören, und deren spezifisches Gewicht = 2,9 ist. Die ersteren werden als Kalkspat, die letzteren als Aragonit bezeichnet; beide stellen zwei ganz verschiedene, nur in ihrer Substanz übereinstimmende Mineralien dar. Es ist durch Versuche wahrscheinlich gemacht, dass sich der Kalkspat im allgemeinen aus kalten, der Aragonit hingegen aus warmen Lösungen von kohlensaurem Kalk abgeschieden habe, dass also auch hier der Unterschied in der Form auf abweichende Verhältnisse bei der Bildung der Krystalle zurückzuführen sei.

Da der Schwefel wie der kohlensaure Kalk in zwei wesentlich verschiedenen Formen krystallisieren können, so bezeichnet man dieselben als dimorph (zweigestaltig) und die betreffende Erscheinung als Dimorphismus. Man kennt den Dimorphismus an einer großen Zahl von Substanzen. Doch ist zu bemerken, dass die verschiedenen Formen auch einem und demselben System angehören können, in welchem Falle sie jedoch auf zwei ungleiche Achsenverhältnisse zurückzuführen sind.

Bei einigen Substanzen wurde sogar das Auftreten in drei wesentlich verschiedenen Krystallformen beobachtet. So giebt es z. B. drei Mineralien, welche aus Titansäure-Anhydrid TiO_2 bestehen. Der Rutil (spezif. Gew. = 4,25) krystallisiert quadratisch, und es verhält sich bei ihm die Hauptachse c zu den Nebenachsen a wie 0,6442 zu 1. Der Anatas (spezif. Gew. = 3,9) gehört gleich-

falls dem quadratischen System an, aber bei ihm verhält sich die Hauptachse zu den Nebenachsen wie 1,7784 zu 1. Der Brookit (spezif. Gew. = 4,05) endlich krystallisiert rhombisch. Demnach bezeichnet man das Titansäure-Anhydrid als trimorph (dreigestaltig) und die betreffende Erscheinung als Trimorphismus. Im allgemeinen aber nennt man die Eigenschaft einer Substanz, wesentlich verschiedene Krystallformen annehmen zu können, Heteromorphismus (Verschiedengestaltigkeit) oder Polymorphismus (Vielgestaltigkeit).

Sehr interessant ist bei einer polymorphen Substanz der Übergang aus einer Modifikation in eine andere. Die nadelförmigen monoklinen Krystalle von Schwefel, welche sich beim Erstarren desselben gebildet haben, sind anfangs klar und durchsichtig, werden aber allmählich trüb und undurchsichtig, wobei sich auch ihre Farbe von bräunlichgelb in hellgelb verwandelt. Man nimmt an, dass diese Veränderung auf dem Übergange der monoklinen in die rhombische Modifikation des Schwefels beruhe, und dass sich die nadelförmigen Krystalle, entsprechend der niedrigeren Temperatur, in ein Aggregat mikroskopisch kleiner rhombischer Pyramiden umwandeln. Noch deutlicher ist ein solcher Übergang beim Quecksilberjodid HgJ_2 zu beobachten. Diese Substanz krystallisiert in höherer Temperatur, z. B. aus dem Schmelzflusse oder bei der Verdichtung ihres stark erhitzten Dampfes in schön gelben Krystallen des rhombischen Systems. Kühlt man dieselben ab oder berührt sie mit einer Nadel, so färben sie sich augenblicklich hochrot und gehen in ein Aggregat von Krystallen über, welche dem quadratischen System angehören. Besonders schön lassen sich solche Beobachtungen mit Hilfe des sog. Krystallisationsmikroskopes von O. Lehmann anstellen, welches so eingerichtet ist, dass man eine Substanz, während man sie vergrößert betrachtet, beliebig erwärmen oder abkühlen kann. Die Erwärmung geschieht von der einen Seite mit Hilfe eines heißen, die Abkühlung von der anderen mit Hilfe eines kalten Luftstromes. Schmilzt man auf dem Objektgläschen eine kleine Menge Schwefel und lässt sie erstarren, so tritt nach einiger Zeit die Umwandlung der monoklinen in die rhombische Modifikation ein, und man kann nun leicht die Temperatur auf einem Punkte halten, bei dem die im Gesichtsfelde erscheinende Grenzfläche beider Modifikationen unbeweglich bleibt, aber bei der geringsten Änderung nach der einen oder anderen

Seite ausweicht, je nachdem man abkühlt oder erwärmt. Ebenso kann man beim Quecksilberjodid leicht eine Temperatur erreichen, bei welcher die Trennungsfläche zwischen der roten und der gelben Modifikation gerade stehen bleibt, beim Erwärmen oder Abkühlen dagegen nach der einen oder anderen Seite sich verschiebt, so dass auch hier die Abhängigkeit des Auftretens beider Modifikationen von der Temperatur klar ersichtlich ist.

Weitere höchst merkwürdige Beispiele des Überganges einer Modifikation einer polymorphen Substanz in eine andere werden wir bei späteren Gelegenheiten kennen lernen.

Es entsteht nun die Frage, wie es möglich sei, dass eine und dieselbe Substanz in ganz verschiedenen Formen auftreten kann. Wir haben in unserer Eingangsbetrachtung gesehen, dass man die Krystalle gleichsam als regelmäßige Bauwerke ansehen muss, deren Bausteine die Massenteilchen oder Moleküle der betreffenden Substanz sind. Je zwei wesentlich von einander verschiedenen Krystallformen entspricht auch eine verschiedene Anordnung der Moleküle. Die Krystalle des monoklinen Schwefels sind anders gebaut als die des rhombischen, die Krystalle des hexagonalen Kalkspats anders als die des rhombischen, wie jener aus kohlensaurem Kalk bestehenden Aragonits. Nun wäre es aber schwer zu verstehen, dass dieselbe Substanz bald diese, bald jene Anordnung der einzelnen Moleküle zeigen kann, wenn man annimmt, dass das chemische Molekül (die kleinste denkbare Menge der betreffenden Verbindung oder des betreffenden Elementes im freien Zustande) in allen Fällen zugleich das Krystallmolekül oder der einzelne Baustein der Krystalle sei. Man denkt sich deshalb das Krystallmolekül aus mehreren chemischen Molekülen zusammengesetzt. Dadurch wird der Polymorphismus verständlich. Beim Krystallisieren eines Stoffes fügen sich zunächst je zwei oder mehrere chemische Moleküle desselben zu einer höheren Einheit, dem Krystallmolekül, zusammen. Die Krystallmoleküle bilden dann wieder die Bausteine des ganzen Krystalles, indem sie sich in regelmäßiger Weise, entsprechend gewissen zwischen ihnen wirkenden anziehenden Kräften, anordnen. Je nachdem nun eine größere oder geringere Anzahl von chemischen Molekülen zusammentritt, werden auch die entstehenden Krystallmoleküle sich in anderer Weise zu regelmäßigen Gruppen vereinigen, und mit der verschiedenartigen Anordnung werden die daraus hervorgehenden Krystalle eine abweichende

Form zeigen. So ließen sich z. B. die Erscheinungen beim kohlensauren Kalk etwa in der Weise erklären, dass man annimmt, bei der Vereinigung von drei chemischen Molekülen ($CaCO_3$) entstehe ein Krystallmolekül, welches der hexagonalen Anordnung des Kalkspats zustrebe, bei der Vereinigung von je vier chemischen Molekülen hingegen ein solches, welches den Baustein zur rhombischen Anordnung des Aragonits liefere. Wie viele chemische Moleküle einer krystallisierenden Substanz sich aber im einzelnen Falle zu einem Krystallmolekül verbinden, in welcher Form die Substanz also auftritt, dies hängt von den Bedingungen ab, unter welchen die Krystallisation stattfindet. Von besonderem Einflusse hierauf ist, wie wir oben gesehen haben, die Temperatur.

Die zweite Erscheinung, welcher wir in diesem Kapitel unsere Aufmerksamkeit schenken wollen, der Isomorphismus, enthüllt uns eine Beziehung zwischen der Form der Krystalle und der chemischen Natur ihrer Substanz. Man hat nämlich gefunden, dass verschiedene Krystalle, wenn sie aus Elementen von ähnlichem chemischem Verhalten oder aus analog zusammengesetzten Verbindungen bestehen, häufig, ja in der Regel auch in ihrer Form eine auffallende Übereinstimmung zeigen, indem sie demselben System angehören und fast genau gleiche Achsenverhältnisse und Winkel besitzen. Man bezeichnet diese Erscheinung als Isomorphismus (Gleichgestaltigkeit) und nennt solche Substanzen, deren Krystalle die erwähnte Übereinstimmung aufweisen, isomorph. Isomorph sind z. B. folgende Mineralien: Kalkspat ($CaCO_3$), Magnesit ($MgCO_3$), Eisenspat ($FeCO_3$), Manganspat ($MnCO_3$), Zinkspat ($ZnCO_3$). Dieselben krystallisieren sämtlich im hexagonalen System, und ihre Krystalle lassen sich nach den Flächen eines Rhomboeders (Fig. 22) spalten, dessen Winkel bei den einzelnen Gliedern der Gruppe nur wenig verschieden sind. Die stumpfen Kantenwinkel des Spaltungsrhomboeders betragen nämlich bei

Kalkspat	105° 5′
Magnesit	107° 20′
Eisenspat	107°
Manganspat	106° 51′
Zinkspat	107° 40′

Vergleicht man die Formeln $CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$, $MnCO_3$ und $ZnCO_3$, so sieht man, dass sie durchaus analog sind und sich nur

dadurch unterscheiden, dass sie ein verschiedenes zweiwertiges Metall enthalten. Dadurch, dass also in der Verbindung $CaCO_3$ das Calciumatom durch ein gleichwertiges Atom Magnesium, Eisen, Mangan oder Zink ersetzt wird, erleidet die Krystallform nur eine sehr geringe Veränderung, sie bleibt im wesentlichen dieselbe. Isomorphe Substanzen stimmen meist auch in ihren physikalischen Eigenschaften, wie in der Spaltbarkeit, dem optischen Verhalten u. s. w. mehr oder weniger überein. Dies ist von besonderer Wichtigkeit für den Fall, dass zwei analog zusammengesetzte Körper im regulären System krystallisieren. Denn da es in diesem System keine Verschiedenheit des Achsenverhältnisses geben kann — die drei Achsen sind ja einander gleich —, so findet auch selbstverständlich für alle dahin gehörigen Krystalle eine vollkommene Übereinstimmung der von entsprechenden Flächen (z. B. des Oktaeders oder des Würfels) gebildeten Winkel statt. In gewissem Sinne sind deshalb alle im regulären System krystallisierenden Stoffe isomorph. Indes ist dies insoweit nur eine zufällige Übereinstimmung, welche erst dann zu einer gesetzmäßigen wird, wenn bei ähnlicher chemischer Zusammensetzung auch die physikalischen Eigenschaften, wie die Spaltbarkeit, analog sind, und wenn die Krystalle der betreffenden Stoffe hinsichtlich der an ihnen gewöhnlich auftretenden Formen einen gemeinsamen Zug erkennen lassen. So sind z. B. unzweifelhaft isomorph Chlornatrium $NaCl$ und Chlorkalium KCl. Beide krystallisieren regulär, zeigen meist den Würfel und lassen sich beide nach den Flächen desselben leicht spalten.

Zuweilen kommt es vor, dass die Krystalle zweier Substanzen eine sehr nahe Übereinstimmung ihrer Form, sowie auch eine große Ähnlichkeit in dem physikalischen Verhalten aufweisen, während die chemische Zusammensetzung nur eine im allgemeinen analoge ist, indem die Moleküle beider Verbindungen zwar aus einer gleichen Anzahl von verschiedenartigen Atomen bestehen, die einander entsprechenden Atome aber nicht sämtlich gleichwertig sind. So stimmt z. B. der aus kohlensaurem Kalk $CaCO_3$ bestehende Kalkspat hinsichtlich seiner Krystallform und seiner physikalischen Eigenschaften sehr nahe überein mit dem gleichfalls hexagonalen salpetersauren Natron $NaNO_3$. Die beiden Formeln $CaCO_3$ und $NaNO_3$ zeigen aber nur mehr eine äußerliche Ähnlichkeit, denn das Calciumatom Ca ist zweiwertig, das Natriumatom Na hingegen einwertig, das Kohlenstoffatom C ist vierwertig, das Stickstoffatom N drei- oder fünfwertig. Anderseits

ist freilich die Gesamtsumme der Atome in beiden Formeln dieselbe, und, was wichtiger ist, die Summe der Wertigkeiten ist, wenn man das Stickstoffatom als fünfwertig betrachtet, ebenfalls die nämliche. Im ersten Falle haben wir $2 + 4 + 3 \cdot 2 = 12$, im zweiten $1 + 5 + 3 \cdot 2 = 12$ Wertigkeiten. Eine derartige, nur teilweise Analogie der chemischen Zusammensetzung zweier Substanzen bezeichnet man als atomistische Gleichartigkeit im Gegensatz zur vollkommen analogen Zusammensetzung, und diese atomistische Gleichartigkeit ist in einigen Fällen mit einer sehr nahen Übereinstimmung der Krystallform verbunden, so dass man auch hier wohl von Isomorphismus redet.

Zwei (oder mehrere) Substanzen können auch wohl durch einen doppelten oder sogar dreifachen Isomorphismus mit einander verbunden sein, indem jede derselben di- oder trimorph ist und die verschiedenen Formen beider paarweise mit einander übereinstimmen. Die beiden Salze, salpetersaures Kali KNO_3 und salpetersaures Natron $NaNO_3$ können sowohl im hexagonalen als auch im rhombischen System krystallisieren. Nun ist das hexagonale salpetersaure Kali mit dem hexagonalen salpetersauren Natron und anderseits das rhombische salpetersaure Kali mit dem rhombischen salpetersauren Natron isomorph. Derartige Substanzen nennt man isodimorph, sowie für den seltenen Fall, dass sie in drei verschiedenen Formen übereinstimmen, isotrimorph.

Hängt man einen Krystall in eine gesättigte Lösung einer mit ihm isomorphen Substanz, so wächst er darin wie in seiner eigenen Lösung weiter. Auf diese Weise kann man Krystalle erhalten, welche aus mehreren einander umhüllenden Schichten verschiedener unter sich isomorpher Stoffe bestehen. Mischt man die Lösungen isomorpher Substanzen und lässt dieselben krystallisieren, so bekommt man Krystalle, in welchen die verschiedenen Stoffe innig gemengt enthalten sind. Isomorphe Substanzen besitzen also die Fähigkeit, gemeinschaftlich homogene, d. h. aus gleichartiger Masse bestehende Krystalle aufzubauen. Das Verhältnis, in welchem die verschiedenen Stoffe in solchen Mischkrystallen enthalten sind, hängt wesentlich von der Zusammensetzung der Lösung ab, aus welcher sich die Krystalle ausscheiden. Die isomorphen Mischungen spielen bei den in der Natur vorkommenden Krystallen, welche sich offenbar nur selten aus einer einfachen Lösung oder überhaupt aus einer unvermischten Substanz ausscheiden konnten, eine sehr wichtige Rolle.

Superoxyd, z. B. Manganoxydul MnO, Manganoxyd Mn_2O_3, Mangansuperoxyd MnO_2.

4. Schwefelmetalle sind Verbindungen von Metallen mit Schwefel. Ihre Formeln kann man oft von den Formeln der Oxyde ableiten, indem man in letzteren den Sauerstoff durch Schwefel ersetzt. Von besonderer Bedeutung sind für uns die Schwefelverbindungen der sog. schweren Metalle (letztere mit einem spezifischen Gewichte über 5, z. B. Schwefelblei PbS (als Mineral Bleiglanz genannt), Schwefelquecksilber HgS (Zinnober), Schwefelzink ZnS (Zinkblende), Zweifach-Schwefeleisen FeS_2 (Schwefelkies).

5. Salze sind Verbindungen, welche am einfachsten dadurch entstehen können, dass der Wasserstoff einer Säure ganz oder teilweise durch ein Metall ersetzt wird. Sie können auch, wie bemerkt, aus der Vereinigung einer Säure oder eines Säure-Anhydrides mit einer Base (auch wohl einem Metalloxyde) hervorgehen. Auf die letztere Entstehungsweise gründet sich die im Folgenden angewandte Benennung der Salze, mit Ausnahme solcher, welche keinen Sauerstoff enthalten.

Man unterscheidet dreierlei Salze: 1. neutrale, bei welchen aller in der Säure enthaltene Wasserstoff durch Metall ersetzt ist, z. B. Chlornatrium $NaCl$ (abgeleitet von HCl), salpetersaures Kali KNO_3 (abgeleitet von HNO_3), schwefelsaurer Kalk $CaSO_4$ (abgeleitet von H_2SO_4), phosphorsaures Kali K_3PO_4 (abgeleitet von H_3PO_4); 2. saure, bei denen nur ein Teil des Wasserstoffs durch Metall vertreten ist, z. B. saures schwefelsaures Kali $KHSO_4$, saurer phosphorsaurer Kalk $HCaPO_4$; 3. basische, welche gewissermaßen als Verbindungen von neutralen Salzen mit Basen betrachtet werden können, z. B. basisch kohlensaures Kupferoxyd $Cu_2H_2CO_5$, zu betrachten als $CuCO_3$ neutrales kohlensaures Kupferoxyd) verbunden mit CuH_2O_2 (Kupferhydroxyd).

In prächtigen Krystallen erscheinen z. B. die Salze: kohlensaurer Kalk $CaCO_3$ (im Kalkspat), schwefelsaurer Baryt $BaSO_4$ Schwerspat).

Häufig muss man ein Salz, entsprechend der höheren Wertigkeit des betreffenden Metalls, von zwei oder mehr Molekülen der Säure ableiten, z. B. salpetersaurer Kalk CaN_2O_6 oder $Ca(NO_3)_2$ (abgeleitet vom doppelten Molekül HNO_3, wobei die beiden Wasserstoffatome durch das zweiwertige Calciumatom ersetzt werden); schwefelsaure Thonerde $Al_2S_3O_{12}$ oder $Al_2(SO_4)_3$ (abgeleitet vom

dreifachen Molekül H_2SO_4, indem zwei dreiwertige Aluminiumatome an die Stelle von sechs Wasserstoffatomen treten).

Es giebt auch Salze, welche mehr als ein Metall enthalten. Man nennt dieselben Doppelsalze und leitet ihre Formel von einem oder mehreren Molekülen einer Säure in der Weise ab, dass der darin enthaltene Wasserstoff durch die betreffenden Metalle zugleich ersetzt wird. Ein Doppelsalz ist z. B. die schwefelsaure Kali-Thonerde (Alaun) $K_2Al_2(SO_4)_4$, abgeleitet von $H_8(SO_4)_4$ d. i. viermal H_2SO_4. Doppelsalze der Kieselsäure kommen als sehr wichtige Mineralien vor.

Scheidet sich ein in Wasser gelöstes Salz infolge einer Abkühlung oder Verdunstung aus der Lösung wieder aus, so nimmt es, wie wir im zweiten Kapitel sahen, Krystallform an. Häufig verbindet sich das Salz hierbei mit einer bestimmten Menge — ein Molekül des Salzes mit einem oder mehreren Molekülen — Wasser, welches, da es gewissermaßen zur Bildung der Krystalle notwendig ist, Krystallwasser genannt wird. So enthalten die blauen Krystalle von schwefelsaurem Kupferoxyd oder Kupfervitriol 5 Moleküle Krystallwasser und besitzen demgemäß die Formel $CuSO_4 + 5\ H_2O$. Das Krystallwasser ist nur lose gebunden; meist entweicht es schon bei gewöhnlicher oder bei nicht zu hoher Temperatur allmählich wieder, wodurch die Krystalle zu einem Pulver zerfallen oder verwittern. Die blauen Krystalle von Kupfervitriol zerfallen bei vorsichtigem Erhitzen zu einem weißen Pulver, welches jedoch beim Anfeuchten unter Wiederaufnahme des Wassers wieder blau wird.

VII.

Fortsetzung: Heteromorphismus und Isomorphismus. Morphotropie. Pseudomorphosen.

Die im vorigen Kapitel erläuterten Symbole und Formeln gestatten nicht nur, in einfacher Weise ein Element zu bezeichnen oder die Zusammensetzung einer Verbindung auszudrücken, sie geben uns auch ein vortreffliches Mittel an die Hand, um den Vorgang einer chemischen Verbindung, Umwandlung oder Zersetzung übersichtlich darzustellen. Will man z. B. ausdrücken, dass sich ein Atom Chlor mit einem Atom Wasserstoff zu einem Molekül Chlorwasserstoff oder Salzsäure verbindet, so schreibt man die chemische Gleichung:

$$Cl + H = HCl.$$

Das Wasser wird durch den elektrischen Strom in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, was man durch die Gleichung ausdrückt:

$$H_2O = 2\,H + O.$$

Als weitere Übungsbeispiele können wir die chemischen Vorgänge benutzen, welche schon im zweiten Kapitel bei Besprechung der Bildung der Krystalle erwähnt wurden (vergl. S. 9 u. f.).

Durch die gegenseitige Einwirkung von Wasser und Eisenchlorid (Fe_2Cl_6) im dampfförmigen Zustande bildet sich Eisenoxyd oder Eisenglanz (Fe_2O_3) und Salzsäure nach der Gleichung:

$$Fe_2Cl_6 + 3\,H_2O = Fe_2O_3 + 6\,HCl.$$

Es wirken also je ein Molekül Eisenchlorid und drei Moleküle Wasser aufeinander ein, und es entstehen neben einem Molekül Eisenoxyd sechs Moleküle Salzsäure.

Schmilzt man die Salze Chlorbaryum ($BaCl_2$) und schwefelsaures Kali (K_2SO_4) zusammen, so setzen sich dieselben um in schwefelsauren Baryt ($BaSO_4$) und Chlorkalium (KCl), entsprechend der Gleichung:

$$BaCl_2 + K_2SO_4 = BaSO_4 + 2\,KCl.$$

Lässt man Kalkwasser, d. i. eine wässrige Lösung von Calciumhydroxyd (CaH_2O_2), an der Luft stehen, so wirkt darauf das in der Luft in geringer Menge enthaltene Kohlensäure-Anhydrid (CO_2) ein, und es bildet sich auf der Lösung eine zarte Haut von kohlensaurem Kalk ($CaCO_3$):

$$CaH_2O_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O.$$

Wie die Gleichung lehrt, entsteht neben dem kohlensauren Kalk Wasser. Treffen in einer wässrigen Lösung die beiden Salze salpetersaurer Kalk ($Ca(NO_3)_2$) und schwefelsaures Kali (K_2SO_4) zusammen, so findet eine Umsetzung statt, deren Produkte schwefelsaurer Kalk und salpetersaures Kali sind. Dieser Vorgang wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$Ca(NO_3)_2 + K_2SO_4 = CaSO_4 + 2\,KNO_3.$$

Wir gehen jetzt dazu über, zwei Erscheinungen kennen zu lernen, welche im Reiche der Krystalle eine überaus wichtige Rolle spielen, den Heteromorphismus oder Polymorphismus und den Isomorphismus. Was man zunächst unter dem ersteren versteht, werden uns am besten ein paar Beispiele zeigen.

Wir haben im zweiten Kapitel gesehen, dass man Schwefel durch Schmelzen und darauffolgendes Erkaltenlassen in nadelförmigen Krystallen erhalten kann. Diese Krystalle gehören dem monoklinen System an; im einfachsten Falle stellen sie eine vierseitige Säule oder ein Prisma dar, welches oben und unten durch eine schief geneigte Fläche (die Basis) abgeschlossen ist. Solche Krystalle erhält man jedesmal, wenn man den Versuch in der angegebenen Weise anstellt.

Löst man hingegen etwas Schwefel in Schwefelkohlenstoff CS_2, einer leicht verdunstenden Flüssigkeit, auf und lässt die Lösung an einem kühlen Orte, damit der Schwefelkohlenstoff nicht zu schnell verdunste, stehen, so scheiden sich bald Krystalle von Schwefel aus, welche schon auf den ersten Blick erkennen lassen, dass ihre Form von der oben für den aus dem geschmolzenen Zustande erstarrten Schwefel beschriebenen gänzlich abweicht. Die Krystalle

zeigen nämlich die Gestalt einer Pyramide (eigentlich Doppelpyramide), welche von acht ungleichseitigen Dreiecken umschlossen wird und dem rhombischen Krystallsystem angehört (Fig. 24). Der Schwefel kann also, je nach den äußeren Umständen, in zwei verschiedenen Krystallsystemen, dem monoklinen oder dem rhombischen, krystallisieren. Doch erstreckt sich die Verschiedenheit nicht blos auf die Krystallform, sondern auch auf die physikalischen Eigenschaften. So hat z. B. der monokline Schwefel ein spezifisches Gewicht von 1,96, der rhombische ein solches von 2,07. Man hat also im Grunde genommen, abgesehen von der stofflichen Natur, zwei gänzlich verschiedene Körper vor sich.

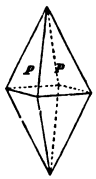


Fig. 24.

Der kohlensaure Kalk $CaCO_3$, eine im Mineralreich sehr verbreitete Substanz, tritt in zweierlei Krystallen auf, nämlich in solchen, welche dem hexagonalen System angehören und das spezifische Gewicht 2,7 besitzen, und in solchen, welche dem rhombischen System angehören, und deren spezifisches Gewicht = 2,9 ist. Die ersteren werden als Kalkspat, die letzteren als Aragonit bezeichnet; beide stellen zwei ganz verschiedene, nur in ihrer Substanz übereinstimmende Mineralien dar. Es ist durch Versuche wahrscheinlich gemacht, dass sich der Kalkspat im allgemeinen aus kalten, der Aragonit hingegen aus warmen Lösungen von kohlensaurem Kalk abgeschieden habe, dass also auch hier der Unterschied in der Form auf abweichende Verhältnisse bei der Bildung der Krystalle zurückzuführen sei.

Da der Schwefel wie der kohlensaure Kalk in zwei wesentlich verschiedenen Formen krystallisieren können, so bezeichnet man dieselben als dimorph (zweigestaltig) und die betreffende Erscheinung als Dimorphismus. Man kennt den Dimorphismus an einer großen Zahl von Substanzen. Doch ist zu bemerken, dass die verschiedenen Formen auch einem und demselben System angehören können, in welchem Falle sie jedoch auf zwei ungleiche Achsenverhältnisse zurückzuführen sind.

Bei einigen Substanzen wurde sogar das Auftreten in drei wesentlich verschiedenen Krystallformen beobachtet. So giebt es z. B. drei Mineralien, welche aus Titansäure-Anhydrid TiO_2 bestehen. Der Rutil (spezif. Gew. = 4,25) krystallisiert quadratisch, und es verhält sich bei ihm die Hauptachse c zu den Nebenachsen a wie 0,6442 zu 1. Der Anatas (spezif. Gew. = 3,9) gehört gleich-

falls dem quadratischen System an, aber bei ihm verhält sich die Hauptachse zu den Nebenachsen wie 1,7784 zu 1. Der Brookit (spezif. Gew. = 4,05) endlich krystallisiert rhombisch. Demnach bezeichnet man das Titansäure-Anhydrid als trimorph (dreigestaltig) und die betreffende Erscheinung als Trimorphismus. Im allgemeinen aber nennt man die Eigenschaft einer Substanz, wesentlich verschiedene Krystallformen annehmen zu können, Heteromorphismus (Verschiedengestaltigkeit) oder Polymorphismus (Vielgestaltigkeit).

Sehr interessant ist bei einer polymorphen Substanz der Übergang aus einer Modifikation in eine andere. Die nadelförmigen monoklinen Krystalle von Schwefel, welche sich beim Erstarren desselben gebildet haben, sind anfangs klar und durchsichtig, werden aber allmählich trüb und undurchsichtig, wobei sich auch ihre Farbe von bräunlichgelb in hellgelb verwandelt. Man nimmt an, dass diese Veränderung auf dem Übergange der monoklinen in die rhombische Modifikation des Schwefels beruhe, und dass sich die nadelförmigen Krystalle, entsprechend der niedrigeren Temperatur, in ein Aggregat mikroskopisch kleiner rhombischer Pyramiden umwandeln. Noch deutlicher ist ein solcher Übergang beim Quecksilberjodid HgJ_2 zu beobachten. Diese Substanz krystallisiert in höherer Temperatur, z. B. aus dem Schmelzflusse oder bei der Verdichtung ihres stark erhitzten Dampfes in schön gelben Krystallen des rhombischen Systems. Kühlt man dieselben ab oder berührt sie mit einer Nadel, so färben sie sich augenblicklich hochrot und gehen in ein Aggregat von Krystallen über, welche dem quadratischen System angehören. Besonders schön lassen sich solche Beobachtungen mit Hilfe des sog. Krystallisationsmikroskopes von O. Lehmann anstellen, welches so eingerichtet ist, dass man eine Substanz, während man sie vergrößert betrachtet, beliebig erwärmen oder abkühlen kann. Die Erwärmung geschieht von der einen Seite mit Hilfe eines heißen, die Abkühlung von der anderen mit Hilfe eines kalten Luftstromes. Schmilzt man auf dem Objektgläschen eine kleine Menge Schwefel und lässt sie erstarren, so tritt nach einiger Zeit die Umwandlung der monoklinen in die rhombische Modifikation ein, und man kann nun leicht die Temperatur auf einem Punkte halten, bei dem die im Gesichtsfelde erscheinende Grenzfläche beider Modifikationen unbeweglich bleibt, aber bei der geringsten Änderung nach der einen oder anderen

Seite ausweicht, je nachdem man abkühlt oder erwärmt. Ebenso kann man beim Quecksilberjodid leicht eine Temperatur erreichen, bei welcher die Trennungsfläche zwischen der roten und der gelben Modifikation gerade stehen bleibt, beim Erwärmen oder Abkühlen dagegen nach der einen oder anderen Seite sich verschiebt, so dass auch hier die Abhängigkeit des Auftretens beider Modifikationen von der Temperatur klar ersichtlich ist.

Weitere höchst merkwürdige Beispiele des Überganges einer Modifikation einer polymorphen Substanz in eine andere werden wir bei späteren Gelegenheiten kennen lernen.

Es entsteht nun die Frage, wie es möglich sei, dass eine und dieselbe Substanz in ganz verschiedenen Formen auftreten kann. Wir haben in unserer Eingangsbetrachtung gesehen, dass man die Krystalle gleichsam als regelmäßige Bauwerke ansehen muss, deren Bausteine die Massenteilchen oder Moleküle der betreffenden Substanz sind. Je zwei wesentlich von einander verschiedenen Krystallformen entspricht auch eine verschiedene Anordnung der Moleküle. Die Krystalle des monoklinen Schwefels sind anders gebaut als die des rhombischen, die Krystalle des hexagonalen Kalkspats anders als die des rhombischen, wie jener aus kohlensaurem Kalk bestehenden Aragonits. Nun wäre es aber schwer zu verstehen, dass dieselbe Substanz bald diese, bald jene Anordnung der einzelnen Moleküle zeigen kann, wenn man annimmt, dass das chemische Molekül die kleinste denkbare Menge der betreffenden Verbindung oder des betreffenden Elementes im freien Zustande) in allen Fällen zugleich das Krystallmolekül oder der einzelne Baustein der Krystalle sei. Man denkt sich deshalb das Krystallmolekül aus mehreren chemischen Molekülen zusammengesetzt. Dadurch wird der Polymorphismus verständlich. Beim Krystallisieren eines Stoffes fügen sich zunächst je zwei oder mehrere chemische Moleküle desselben zu einer höheren Einheit, dem Krystallmolekül, zusammen. Die Krystallmoleküle bilden dann wieder die Bausteine des ganzen Krystalles, indem sie sich in regelmäßiger Weise, entsprechend gewissen zwischen ihnen wirkenden anziehenden Kräften, anordnen. Je nachdem nun eine größere oder geringere Anzahl von chemischen Molekülen zusammentritt, werden auch die entstehenden Krystallmoleküle sich in anderer Weise zu regelmäßigen Gruppen vereinigen, und mit der verschiedenartigen Anordnung werden die daraus hervorgehenden Krystalle eine abweichende

Form zeigen. So ließen sich z. B. die Erscheinungen beim kohlensauren Kalk etwa in der Weise erklären, dass man annimmt, bei der Vereinigung von drei chemischen Molekülen ($CaCO_3$) entstehe ein Krystallmolekül, welches der hexagonalen Anordnung des Kalkspats zustrebe, bei der Vereinigung von je vier chemischen Molekülen hingegen ein solches, welches den Baustein zur rhombischen Anordnung des Aragonits liefere. Wie viele chemische Moleküle einer krystallisierenden Substanz sich aber im einzelnen Falle zu einem Krystallmolekül verbinden, in welcher Form die Substanz also auftritt, dies hängt von den Bedingungen ab, unter welchen die Krystallisation stattfindet. Von besonderem Einflusse hierauf ist, wie wir oben gesehen haben, die Temperatur.

Die zweite Erscheinung, welcher wir in diesem Kapitel unsere Aufmerksamkeit schenken wollen, der Isomorphismus, enthüllt uns eine Beziehung zwischen der Form der Krystalle und der chemischen Natur ihrer Substanz. Man hat nämlich gefunden, dass verschiedene Krystalle, wenn sie aus Elementen von ähnlichem chemischem Verhalten oder aus analog zusammengesetzten Verbindungen bestehen, häufig, ja in der Regel auch in ihrer Form eine auffallende Übereinstimmung zeigen, indem sie demselben System angehören und fast genau gleiche Achsenverhältnisse und Winkel besitzen. Man bezeichnet diese Erscheinung als Isomorphismus (Gleichgestaltigkeit) und nennt solche Substanzen, deren Krystalle die erwähnte Übereinstimmung aufweisen, isomorph. Isomorph sind z. B. folgende Mineralien: Kalkspat ($CaCO_3$), Magnesit ($MgCO_3$), Eisenspat ($FeCO_3$), Manganspat ($MnCO_3$), Zinkspat ($ZnCO_3$). Dieselben krystallisieren sämtlich im hexagonalen System, und ihre Krystalle lassen sich nach den Flächen eines Rhomboeders (Fig. 22) spalten, dessen Winkel bei den einzelnen Gliedern der Gruppe nur wenig verschieden sind. Die stumpfen Kantenwinkel des Spaltungsrhomboeders betragen nämlich bei

Kalkspat	105° 5′
Magnesit	107° 20′
Eisenspat	107°
Manganspat	106° 51′
Zinkspat	107° 40′

Vergleicht man die Formeln $CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$, $MnCO_3$ und $ZnCO_3$, so sieht man, dass sie durchaus analog sind und sich nur

dadurch unterscheiden, dass sie ein verschiedenes zweiwertiges Metall enthalten. Dadurch, dass also in der Verbindung $CaCO_3$ das Calciumatom durch ein gleichwertiges Atom Magnesium, Eisen, Mangan oder Zink ersetzt wird, erleidet die Krystallform nur eine sehr geringe Veränderung, sie bleibt im wesentlichen dieselbe. Isomorphe Substanzen stimmen meist auch in ihren physikalischen Eigenschaften, wie in der Spaltbarkeit, dem optischen Verhalten u. s. w. mehr oder weniger überein. Dies ist von besonderer Wichtigkeit für den Fall, dass zwei analog zusammengesetzte Körper im regulären System krystallisieren. Denn da es in diesem System keine Verschiedenheit des Achsenverhältnisses geben kann — die drei Achsen sind ja einander gleich —, so findet auch selbstverständlich für alle dahin gehörigen Krystalle eine vollkommene Übereinstimmung der von entsprechenden Flächen (z. B. des Oktaeders oder des Würfels) gebildeten Winkel statt. In gewissem Sinne sind deshalb alle im regulären System krystallisierenden Stoffe isomorph. Indes ist dies insoweit nur eine zufällige Übereinstimmung, welche erst dann zu einer gesetzmäßigen wird, wenn bei ähnlicher chemischer Zusammensetzung auch die physikalischen Eigenschaften, wie die Spaltbarkeit, analog sind, und wenn die Krystalle der betreffenden Stoffe hinsichtlich der an ihnen gewöhnlich auftretenden Formen einen gemeinsamen Zug erkennen lassen. So sind z. B. unzweifelhaft isomorph Chlornatrium *NaCl* und Chlorkalium *KCl*. Beide krystallisieren regulär, zeigen meist den Würfel und lassen sich beide nach den Flächen desselben leicht spalten.

Zuweilen kommt es vor, dass die Krystalle zweier Substanzen eine sehr nahe Übereinstimmung ihrer Form, sowie auch eine große Ähnlichkeit in dem physikalischen Verhalten aufweisen, während die chemische Zusammensetzung nur eine im allgemeinen analoge ist, indem die Moleküle beider Verbindungen zwar aus einer gleichen Anzahl von verschiedenartigen Atomen bestehen, die einander entsprechenden Atome aber nicht sämtlich gleichwertig sind. So stimmt z. B. der aus kohlensaurem Kalk $CaCO_3$ bestehende Kalkspat hinsichtlich seiner Krystallform und seiner physikalischen Eigenschaften sehr nahe überein mit dem gleichfalls hexagonalen salpetersauren Natron $NaNO_3$. Die beiden Formeln $CaCO_3$ und $NaNO_3$ zeigen aber nur mehr eine äußerliche Ähnlichkeit, denn das Calciumatom *Ca* ist zweiwertig, das Natriumatom *Na* hingegen einwertig, das Kohlenstoffatom *C* ist vierwertig, das Stickstoffatom *N* drei- oder fünfwertig. Anderseits

ist freilich die Gesamtsumme der Atome in beiden Formeln dieselbe, und, was wichtiger ist, die Summe der Wertigkeiten ist, wenn man das Stickstoffatom als fünfwertig betrachtet, ebenfalls die nämliche. Im ersten Falle haben wir $2 + 4 + 3 \cdot 2 = 12$, im zweiten $1 + 5 + 3 \cdot 2 = 12$ Wertigkeiten. Eine derartige, nur teilweise Analogie der chemischen Zusammensetzung zweier Substanzen bezeichnet man als atomistische Gleichartigkeit im Gegensatz zur vollkommen analogen Zusammensetzung, und diese atomistische Gleichartigkeit ist in einigen Fällen mit einer sehr nahen Übereinstimmung der Krystallform verbunden, so dass man auch hier wohl von Isomorphismus redet.

Zwei (oder mehrere) Substanzen können auch wohl durch einen doppelten oder sogar dreifachen Isomorphismus mit einander verbunden sein, indem jede derselben di- oder trimorph ist und die verschiedenen Formen beider paarweise mit einander übereinstimmen. Die beiden Salze, salpetersaures Kali KNO_3 und salpetersaures Natron $NaNO_3$ können sowohl im hexagonalen als auch im rhombischen System krystallisieren. Nun ist das hexagonale salpetersaure Kali mit dem hexagonalen salpetersauren Natron und anderseits das rhombische salpetersaure Kali mit dem rhombischen salpetersauren Natron isomorph. Derartige Substanzen nennt man isodimorph, sowie für den seltenen Fall, dass sie in drei verschiedenen Formen übereinstimmen, isotrimorph.

Hängt man einen Krystall in eine gesättigte Lösung einer mit ihm isomorphen Substanz, so wächst er darin wie in seiner eigenen Lösung weiter. Auf diese Weise kann man Krystalle erhalten, welche aus mehreren einander umhüllenden Schichten verschiedener unter sich isomorpher Stoffe bestehen. Mischt man die Lösungen isomorpher Substanzen und lässt dieselben krystallisieren, so bekommt man Krystalle, in welchen die verschiedenen Stoffe innig gemengt enthalten sind. Isomorphe Substanzen besitzen also die Fähigkeit, gemeinschaftlich homogene, d. h. aus gleichartiger Masse bestehende Krystalle aufzubauen. Das Verhältnis, in welchem die verschiedenen Stoffe in solchen Mischkrystallen enthalten sind, hängt wesentlich von der Zusammensetzung der Lösung ab, aus welcher sich die Krystalle ausscheiden. Die isomorphen Mischungen spielen bei den in der Natur vorkommenden Krystallen, welche sich offenbar nur selten aus einer einfachen Lösung oder überhaupt aus einer unvermischten Substanz ausscheiden konnten, eine sehr wichtige Rolle.

Manchmal nimmt man wahr, dass solche Krystalle aus verschiedenartigen Schichten bestehen, dass sich also die isomorphen Stoffe abwechselnd an ihrer Bildung beteiligten, häufiger noch ergiebt die chemische Analyse, dass die Krystalle eines Minerals ein inniges Gemenge mehrerer isomorpher Substanzen darstellen. Hierdurch kommt es, dass Krystalle eines und desselben Minerals, namentlich wenn sie von verschiedenen Fundorten stammen, in ihrer chemischen Zusammensetzung, auch wohl in ihren physikalischen Eigenschaften, wie in dem optischen Verhalten, mehr oder weniger von einander abweichen können. Auf diesen Umstand ist die oft große Zahl der bei manchen Mineralarten zu unterscheidenden Varietäten zurückzuführen. Doch bleiben die chemischen Formeln solcher Varietäten unter einander, sowie denen der einzelnen Bestandteile vollkommen analog. So findet man z. B. Kalkspatkrystalle, welche neben vorwiegendem kohlensaurem Kalk $CaCO_3$ verhältnismäßig geringe Mengen von kohlensaurer Magnesia $MgCO_3$ und kohlensaurem Eisenoxydul $FeCO_3$ in isomorpher Mischung enthalten. Man drückt ihre chemische Zusammensetzung aus durch die allgemeine Formel $(Ca,Mg,Fe)CO_3$, wobei die eingeklammerten Mengen von Calcium, Magnesium und Eisen zusammen soviel betragen, dass sie einem Atom Calcium gleichwertig sind, oder mit andern Worten soviel, wie nötig wäre, um in dem Molekül der Kohlensäure H_2CO_3 die beiden Wasserstoffatome zu ersetzen. —

Eine interessante und wichtige Beziehung zwischen chemischer Zusammensetzung und Krystallform hat Prof. Groth in München entdeckt. Derselbe fand nämlich bei der Vergleichung der Krystallformen verschiedener, aber in ihren chemischen Formeln einander nahestehender organischer Verbindungen, dass bei der Ersetzung eines oder mehrerer Atome Wasserstoff in einer solchen durch ein oder mehrere Atome Chlor oder durch Radikale, z. B. durch die einwertige Gruppe OH oder NO_2, sich das Achsenverhältnis nicht vollständig verändert. Vielmehr stehen die Krystalle der durch die Ersetzung neu entstandenen Substanz zu jenen der ursprünglichen in der Beziehung, dass in ihrem Achsenverhältnis für zwei Achsen die Werte fast genau dieselben geblieben sind, während der Wert der dritten Achse eine bedeutendere Veränderung erfahren hat. Auch das Krystallsystem ist häufig dasselbe geblieben, wenngleich auch manchmal, namentlich bei der Ersetzung des Wasserstoffs durch Chlor, die neu entstandene Substanz in einem weniger regelmäßigen

System wie die ursprüngliche krystallisiert. Groth hat diese Erscheinung als Morphotropie (Veränderung der Form) bezeichnet. —

Schließlich besprechen wir hier noch kurz die sogen. Pseudomorphosen oder Afterkrystalle. Man versteht darunter Körper, welche zwar eine bestimmte Krystallform zeigen, äußerlich also wohl den Eindruck von echten Krystallen machen, jedoch aus einem anderen Stoffe bestehen, als derjenige ist, welcher jener Form entspricht. Dieselben sind also keine eigentlichen Krystalle, da bei ihnen Form und Inhalt nicht im Einklang stehen. Dazu kommt, dass diese Gebilde in ihrem Innern keineswegs die Homogenität oder Gleichartigkeit der Substanz aufweisen, wie man sie bei echten Krystallen voraussetzt. Im Gegenteil zeigt namentlich die mikroskopische Untersuchung von sehr dünnen Schliffen, dass dieselben meist eine faserige oder körnige Struktur besitzen, demnach eine krystallinische, aus zahllosen kleinen Individuen zusammengesetzte Masse darstellen. Die Pseudomorphosen sind aus den ursprünglichen Krystallen in der Weise entstanden, dass deren Substanz eine Umwandlung erlitten hat, oder dass sie durch einen andern Stoff ersetzt oder verdrängt wurde. Danach unterscheidet man Umwandlungs- und Verdrängungspseudomorphosen. Bei den Umwandlungspseudomorphosen kann es der Fall sein, dass die ursprüngliche Substanz nur in eine andere Modifikation übergegangen ist, so bei den Kalkspatkrystallen, welche in Aragonit, bei den Aragonitkrystallen, welche in Kalkspat umgewandelt wurden. Hier ist also der Dimorphismus des kohlensauren Kalks die Ursache der Bildung von Afterkrystallen. In anderen Fällen hat die ursprüngliche Substanz gewisse Stoffe aufgenommen resp. abgegeben oder einen ihrer Bestandteile gegen einen neuen ausgetauscht. So findet man häufig reguläre Krystalle, ursprünglich von Rotkupfererz (Kupferoxydul Cu_2O), welche in Malachit (kohlensaures Kupferoxyd) verwandelt sind; der Malachit krystallisiert selbst im monoklinen System. Anderseits giebt es Pseudomorphosen von gediegenem Kupfer nach Rotkupfererz, welch letzteres also seinen Sauerstoff verloren hat. Krystalle von Witherit (kohlensaurem Baryt) erscheinen wohl umgewandelt in Schwerspat (schwefelsauren Baryt). Schließlich giebt es zahlreiche Umwandlungspseudomorphosen, welche durch einen völligen Austausch der Stoffe gebildet wurden, so dass sich zwischen der ursprünglichen und neuen Substanz gar keine direkte Beziehung mehr erkennen lässt. So die Pseudomorphosen von Quarz (SiO_2)

nach Flussspat ($CaFl_2$), von Schwefelkies (FeS_2) nach Quarz u. a. Derartige Bildungen sind das Resultat mehrerer auf einander folgender chemischer Veränderungen.

Die Verdrängungspseudomorphosen sind auf die Art entstanden, dass der ursprüngliche Krystall zuerst von einer fremden Substanz mit einer dünnen Kruste umhüllt wurde; darauf wurde der Inhalt (Kern) aufgelöst und fortgeführt, der gebildete Hohlraum aber ganz oder teilweise durch die Substanz der Hülle oder durch eine andere Materie wieder ausgefüllt. Man spricht deshalb hier auch von Ausfüllungspseudomorphosen. So finden sich Afterkrystalle von Quarz nach Kalkspat, desgleichen nach Eisenspat u. s. w.

Die Pseudomorphosen sind zuweilen glattflächig und scharfkantig, meist jedoch sind ihre Flächen matt und rauh, die Kanten und Ecken mehr oder weniger abgerundet.

VIII.

Vorkommen der Krystalle. Zusammenvorkommen verschiedenartiger Krystalle.

Die in der Natur vorkommenden Krystalle werden entweder an derjenigen Stelle angetroffen, wo sie entstanden sind, man sagt: auf primärer Lagerstätte, oder an einem anderen Orte, wohin sie später, z. B. durch die bewegende Kraft des Wassers, gelangten: auf sekundärer Lagerstätte. Von besonderem Interesse ist der erstere Fall, da man bei den auf primärer Lagerstätte befindlichen Krystallen oft aus der Umgebung, in der sie sich finden, auf die Art ihrer Entstehung schließen kann.

Was die feste Erdrinde, in welcher wir die Krystalle antreffen, angeht, so wird sie im allgemeinen von verschiedenen Mineralmassen gebildet, welche in größerer Menge und weit verbreitet auftreten und die man als Gesteine bezeichnet. Ein Gestein besteht entweder aus einem einzelnen Mineral, wie z. B. der Kalkstein aus Kalkspat, oder es ist aus mehreren Mineralien zusammengesetzt, welche man entweder schon mit bloßem Auge oder erst mit Hilfe des Mikroskops in sehr dünnen Schliffen neben einander erkennen kann. So nimmt man die Bestandteile des Granits, Feldspat, Quarz und Glimmer, schon mit bloßem Auge neben einander wahr, während diejenigen des Basalts, welcher äußerlich gleichartig erscheint, erst bei mikroskopischer Betrachtung deutlich zu unterscheiden sind*).

Die feste Erdrinde lässt ein verschiedenes Alter der sie zu-

*) Die Zusammensetzung der wichtigsten Gesteine s. in dem am Schlusse des Buches beigefügten Verzeichnisse.

sammensetzenden Gesteine erkennen. Dieselben überlagern einander in lang und breit ausgedehnten Massen (Decken oder Schichten), von denen, falls nicht nachträglich eine gewaltsame Verschiebung oder Umwälzung stattfand, die obersten natürlich die zuletzt entstandenen sind, oder es dringt ein Gestein in mächtigen, mehr vertikal ausgedehnten sogen. Stöcken, oder in Gängen, d. s. Ausfüllungen von Spalten oder Klüften, in ein anderes, älteres ein. Diese Verhältnisse deuten darauf hin, dass die Gesteine ursprünglich entweder heißflüssig waren und in diesem Zustande aus dem Erdinnern heraufgedrungen und dann erstarrt sind (eruptive Gesteine) oder dass sie sich vor und nach aus dem Wasser in feinen, schlammartigen Teilchen abgesetzt haben, welche sich allmählich verfestigten (sedimentäre Gesteine). Der Granit ist z. B. ohne Zweifel aus heißflüssigem Zustande erstarrt, während der Kalkstein sich aus Wasser abgesetzt hat.

Die Gesteine sind entweder gleichzeitig mit den sie zusammensetzenden Mineralien entstanden und im wesentlichen unverändert geblieben, in welchem Falle man sie als Urgesteine bezeichnet (z. B. Granit, Gneiß, Glimmerschiefer), oder sie sind aus den Trümmern älterer Gesteine gebildet, welche im Laufe der Zeit, namentlich durch die Einwirkung der Luft und des Wassers, zerstört wurden. Im letzteren Falle spricht man von Trümmergesteinen (z. B. Sandstein, Thonschiefer). Dabei sind die Trümmer, beim Sandstein z. B. die einzelnen Sandkörner, durch irgend ein mineralisches Bindemittel wieder verkittet. Trümmer, welche aufgehäuft, aber durch kein Bindemittel wieder verfestigt sind, bezeichnet man wohl als loses Trümmergestein. Ein solches ist z. B. der Sand.

Man unterscheidet eingewachsene, aufgewachsene und lose Krystalle, welchen wir eine gesonderte kurze Besprechung widmen.

1. Die eingewachsenen Krystalle sind innerhalb einer ursprünglich weichen, mehr oder weniger nachgiebigen Masse entstanden, welche schließlich fest wurde. Sie konnten deshalb im günstigsten Falle eine ringsum vollständige Ausbildung erlangen, wie z. B. die Krystalle von Leucit in den Laven des Vesuv, diejenigen von Granat im Chloritschiefer, von Boracit im Gyps, von Schwefelkies im Thon. Die Flächen dieser Krystalle sind manchmal auffallend eben und glänzend, manchmal lassen sie indes durch geringere Glätte erkennen, dass sie nicht in einem freien Raume entstanden. Viele eingewachsene Krystalle wurden auch durch das

sie umgebende Gestein oder durch andere benachbarte Krystalle in ihrer freien Ausbildung mehr oder weniger gehemmt und konnten so zu keiner vollkommenen Ausprägung ihrer Form gelangen.

Die eingewachsenen Krystalle sind entweder gleichzeitig mit dem sie umhüllenden Gestein resp. aus dessen Substanz heraus entstanden, wie die Quarze und Orthoklase im Porphyr, Granit und Trachyt oder die Granate im Glimmerschiefer, und bilden dann Gemengteile der betreffenden Gesteine, oder sie verdanken ihre Entstehung dem späteren Zutritt gewisser Lösungen, welche die noch nachgiebige Masse durchtränkten, und stehen dann in keiner direkten Beziehung zum Gestein selbst. Dies gilt z. B. von den Schwefelkieskrystallen und denjenigen von Steinsalz, welche im Thon vorkommen. Eine derartige Krystallbildung kann man auch künstlich nachahmen. Mischt man weichen Thon mit einer Alaunlösung und lässt die Mischung eintrocknen, so kann man nach einiger Zeit beobachten, wie in dem Thon ringsum ausgebildete Alaunoktaeder sich gebildet haben.

Die eingewachsenen Krystalle können mikroskopisch klein sein, sie können aber auch sehr bedeutende Größe erlangen. Im Granit von Miask dehnt sich stellenweise ein einziger Orthoklaskrystall, wenn auch ohne deutliche Flächenbegrenzung, so gewaltig aus, dass ein ganzer Steinbruch in ihm Platz findet. Die Zusammengehörigkeit seiner Teile erkennt man aus den überall parallel verlaufenden Spaltungsrichtungen.

2. Die auf einer Unterlage aufgewachsenen Krystalle zeigen nur eine teilweise Formausbildung, gewöhnlich nicht viel mehr als die eine Hälfte ihrer Form, jedoch häufig in großer Vollkommenheit. Zuweilen ist allerdings die Anwachsstelle so klein, dass man bei den abgebrochenen Krystallen Mühe hat, sie zu finden; so bei gewissen Bleiglanzkrystallen von Neudorf am Harz oder bei Adularen aus den Alpen. Unvollkommener werden die aufgewachsenen Krystalle, wenn sie nicht einzeln, sondern zu vielen dicht gedrängt der Unterlage aufsitzen, wobei oft nur ihre freien Enden deutliche Krystallflächen zeigen. Eine solche Vereinigung mehrerer Krystalle nennt man eine Krystalldruse. Drusen finden sich auf Spalten und Klüften, sowie in Hohlräumen der Gesteine. Bekannt sind die prächtigen Drusen von Bergkrystall, welche in den Alpen gefunden werden.

Ebenso wie die eingewachsenen Krystalle zu dem sie umhüllenden Gestein, so können die aufgewachsenen zu ihrer Unter-

lage hinsichtlich ihrer Substanz entweder in einer näheren Beziehung stehen oder derselben gewissermaßen fremd sein. Im ersteren Falle stellen sie zuweilen die Substanz der Unterlage im krystallisierten Zustande dar, wie die auf Kalkstein aufsitzenden Kalkspatkrystalle, oder sie bilden einen in dem sich darbietenden freien Raume auskrystallisierten Gemengteil des Gesteins, wie die Bergkrystalle (Quarz) im Gneiß und Granit, die schönen milchweißen Orthoklase im Turmalingranit von Elba u. a. Die erwähnten Kalkspatkrystalle haben sich offenbar aus wässriger kohlensäurehaltiger Lösung gebildet (vgl. S. 12), aber auch bei den Bergkrystallen und dem Orthoklas hat ohne Zweifel die lösende Wirkung des Wassers mitgewirkt. Das mit dem Gestein, vielleicht unter hohem Druck und bei höherer Temperatur, in Berührung kommende Wasser bildete mit den Bestandteilen desselben eine, wenn auch sehr verdünnte Lösung, aus welcher sich später die Krystalle in Hohlräumen und auf Spalten ausschieden. Denn ganz unlöslich in Wasser ist kein Stoff, namentlich wenn noch andere die Lösung befördernde Substanzen vorhanden sind. Jene Krystalle haben aber zu ihrer Bildung zweifelsohne eine außerordentlich lange Zeit gebraucht.

Diejenigen aufgewachsenen Krystalle, welche ihrer Substanz nach von der sie tragenden Unterlage gänzlich verschieden sind, haben sich in der Regel aus wässrigen Lösungen ausgeschieden, die das Material zu ihrer Bildung herbeiführten. So verhält es sich z. B. mit den prächtigen Bergkrystallen, welche im schneeweißen Marmor von Carrara vorkommen, so auch mit den Krystallen von Kalkspat, Flussspat, Schwerspat, Bleiglanz, Zinkblende u. s. w., die sich auf den Erzgängen finden. Hier aber hat in manchen Fällen nicht ein einfaches Auskrystallisieren aus der Lösung stattgefunden, sondern es haben mehrere in Lösung befindliche Stoffe beim Zusammentreffen chemisch auf einander eingewirkt und so neue Verbindungen erzeugt, welche sich, weil weniger löslich, ausschieden und dabei Krystallform annahmen.

Unabhängig von ihrer Unterlage sind auch diejenigen aufgewachsenen Krystalle, welche ihre Entstehung einer Sublimation, also einem Übergange aus dem gasförmigen in den festen Zustand, oft bedingt durch eine wechselseitige Zersetzung heißer Dämpfe, zu verdanken haben. Eine derartige Bildung ist allerdings nur in verhältnismäßig selteneren Fällen zu konstatieren. Die betreffenden

Krystalle haben sich dort abgesetzt, wo jener Übergang resp. die Abkühlung gerade stattfand. Durch Sublimation entstehen in Vulkanen noch fortwährend viele Krystalle. Große Tafeln von Eisenglanz (Fe_2O_3) finden sich auf der erstarrten Lava oder in Spalten derselben; dieselben sind höchst wahrscheinlich durch die gegenseitige Einwirkung von Eisenchlorid- und Wasserdämpfen entstanden (s. S. 60). Auf den Eisenglanzkrystallen von Plaidt bei Andernach haben sich zuweilen wieder kleine gelbe Augite angesiedelt, deren Bildung man gleichfalls auf Sublimation zurückführt.

3. Nicht mehr auf primärer, sondern auf sekundärer Lagerstätte befinden sich die losen Krystalle. Dieselben waren ursprünglich entweder ein- oder aufgewachsen. Durch die Verwitterung oder Zerstörung des sie umhüllenden oder tragenden Gesteins wurden sie frei. So z. B. die ringsum ausgebildeten Orthoklaskrystalle, welche ursprünglich im Granit und namentlich im Porphyr eingesprengt waren und nach der Verwitterung der sie umhüllenden Gesteinsmasse herausfielen. So die aus Basalttuffen, Laven u. s. w. stammenden Augitkrystalle, welche man in vulkanischen Gegenden oft in großer Menge auflesen kann; die aus dem Serpentin frei gewordenen roten böhmischen Granaten, wie auch die schwarzen als Melanit bezeichneten, welche aus vulkanischen Tuffen von Frascati bei Rom auswitterten und die man daselbst auf den Feldern sammelt. Oft wurden die losgelösten Krystalle zusammen mit den Trümmern des zerstörten Gesteins durch die Kraft des bewegten Wassers fortgeschwemmt und an einer anderen Stelle wieder abgelagert. Enthalten derartige Ablagerungen wertvolle oder nutzbare Mineralien, so bezeichnet man sie als Seifen. So findet sich der Diamant häufig lose in den sogen. Diamantseifen, begleitet von Krystallen oder Bruchstücken anderer Mineralien, wie Quarz, Amethyst, Turmalin, Topas, öfters auch Gold und Platin.

Manchmal werden lose Leucit- und Augitkrystalle bei vulkanischen Eruptionen ausgeworfen. Am Vesuv »regnet es« zuweilen Leucite.

Sehr häufig findet man unmittelbar neben einander oder auch auf einander gewachsen Krystalle verschiedener Mineralien, ja nicht selten umhüllt ein Krystall einen anderen, ihm fremden, mehr oder weniger. Sind die verschiedenartigen Krystalle zugleich und während einer gleichen Zeitdauer entstanden, so werden sie sich neben einander gebildet haben, oft auch zusammenstoßen und sich gegen-

seitig den Raum streitig machen. Auch werden bald die Krystalle der einen Art auf jenen der anderen sitzen und Eindrücke von diesen zeigen, bald aber die Krystalle der anderen Art solche Auflagerung und Eindrücke darbieten. So giebt es z. B. Drusen mit gleichzeitig gebildeten Krystallen von Adular und Kalkspat.

Hat hingegen die Bildung der verschiedenartigen Krystalle zu verschiedener Zeit stattgefunden, oder es dauerte diejenige der einen Art länger als die der andern, so werden nur Krystalle der jüngeren Art auf solchen der älteren aufsitzen oder dieselben mehr oder weniger umhüllen. So sitzen z. B. manchmal auf dem fast unlöslichen und deshalb zuerst auskrystallisierten Quarz Krystalle von später gebildetem, weil etwas leichter löslichem Schwerspat.

Manchmal umschließt auch ein Krystall andere ihm fremde Krystalle vollständig, so dass letztere gleichsam in ersterem schweben. So umschließt z. B. der Bergkrystall zuweilen gut ausgebildete Tafeln von Eisenglanz. Es ist dies wohl so zu erklären, dass, während eine Pause im Wachstum des Bergkrystalls eintrat, sich auf demselben eine Eisenglanztafel ansiedelte, die dann beim späteren Weiterwachsen des Bergkrystalls von diesem umhüllt wurde. Dieser Vorgang wiederholte sich darauf in ganz gleicher Weise, so dass schließlich in dem klaren Bergkrystall mehrere parallel gelagerte Eisenglanztafeln stecken.

Von besonderem Interesse sind die, wenn auch nicht häufigen Fälle, in denen Krystalle verschiedener Mineralien in gesetzmäßiger Stellung mit einander verwachsen sind. So findet man z. B. auf den hexagonalen Tafeln von Eisenglanz aus den Alpen Rutilkrystalle, welche dem quadratischen System angehören, in ganz bestimmter Stellung aufgewachsen (näheres s. beim Eisenglanz). Ein anderes hübsches Beispiel liefern die Orthoklaskrystalle von Hirschberg und Striegau in Schlesien, welche oft zierliche wasserhelle Krystalle von Albit tragen oder auch auf gewissen Flächen mit krystallisirtem Albit vollständig überzogen sind. Der Orthoklas gehört dem monoklinen, der Albit dem triklinen System an; die Formen beider Mineralien stimmen äußerlich nahe überein, und die Individuen des Albits sitzen nun in möglichst paralleler Stellung mit derjenigen des Orthoklases auf diesem auf (vergl. Albit).

IX.

Das reguläre Krystallsystem. Die sieben Formen desselben und ihre Kombinationen. Zwillingsbildung.

Bevor wir dazu übergehen, die einzelnen zum regulären System gehörigen Krystallformen zu besprechen, erinnern wir uns daran, dass dieselben alle auf drei gleichwertige und gleich lange, aufeinander senkrecht stehende Achsen zurückzuführen sind. Infolge der Gleichwertigkeit der Achsen kann man jede reguläre Krystallform nach drei verschiedenen Richtungen so aufstellen, dass sie stets denselben Anblick darbietet. Die Aufstellung der Krystalle geschieht meist so, dass eine Achse vertikal, die zweite horizontal und quer verläuft, während die dritte auf den Beschauer zu gerichtet ist. Im Verhältnis hierzu sind die Formen in den folgenden Figuren etwas nach links gedreht. Der Unterschied der verschiedenen möglichen Formen besteht nun darin, dass die zu denselben gehörenden Flächen jedesmal eine andere Lage zu den drei Achsen besitzen, mit anderen Worten, dass sie dieselben in verschiedener Weise und in ungleichem Verhältnisse schneiden. Betrachten wir ganz allgemein die Lage einer ebenen Fläche zu den drei Achsen, so finden wir, dass im wesentlichen folgende Fälle zu unterscheiden sein werden:

1. die Fläche schneidet alle drei Achsen,
2. sie schneidet zwei Achsen, geht aber der dritten parallel,
3. sie schneidet nur eine Achse und geht den beiden anderen parallel.

Der erste Fall ergiebt bei einiger Überlegung folgende drei Unterfälle:

1*a*. alle drei Achsen werden in gleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte geschnitten,

1*b*. zwei Achsen werden in gleicher, die dritte in verschiedener Entfernung geschnitten,

1*c*. alle drei Achsen werden in verschiedener Entfernung geschnitten.

Der zweite Fall ergiebt in ähnlicher Weise zwei Unterfälle:

2*a*. die beiden Achsen werden in gleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte geschnitten,

2*b*. die beiden Achsen werden in ungleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte geschnitten.

Demnach hätten wir im Ganzen sechs wesentlich verschiedene Möglichkeiten. Indes erhöht sich diese Zahl auf sieben, wenn wir bedenken, dass bei 1*b* noch insofern ein Unterschied anzunehmen ist, als die beiden gleichen Achsenschnitte größer oder kleiner sein können als der dritte davon verschiedene Achsenschnitt. Alle sieben erwähnten Fälle führen nun auf besondere Krystallformen, und zwar:

1*a*. auf das Oktaeder,
1*b*. » » Ikositetraeder oder auf das Triakisoktaeder,
1*c*. » » Hexakisoktaeder,
2*a*. » » Rhombendodekaeder,
2*b*. » » Tetrakishexaeder,
3. » den Würfel (Hexaeder).

Nachdem wir so zunächst eine Übersicht gewonnen haben, gehen wir zur näheren Betrachtung der einzelnen Formen über. Da jedoch das Oktaeder, der Würfel und das Rhombendodekaeder die einfachsten Verhältnisse darbieten, so werden wir diese zuerst besprechen.

1. Um zu dem **Oktaeder** zu gelangen, denken wir uns in jeden der acht von den drei sich schneidenden Achsenebenen gebildeten Räume oder Oktanten eine Fläche so gelegt, dass sie die drei Achsen in gleichem Abstande vom Achsenmittelpunkte trifft. Wir nehmen dabei, wie auch bei den später zu besprechenden Krystallformen, an, dass auch die Abstände in den verschiedenen Oktanten untereinander gleich seien, hier also, dass alle acht Flächen des Oktaeders gleiche Entfernung vom Achsenmittelpunkte haben. In diesem normalen Falle befindet sich, wie man sagt, das

Oktaeder im Gleichgewichte, während man für den Fall, dass die einzelnen Flächen desselben verschieden weit vom Achsenmittelpunkte abstehen, ein verzerrtes Oktaeder erhalten würde (vergl. die bezüglichen Bemerkungen und Fig. 8 auf S. 18).

Das Oktaeder (Achtflächner, Fig. 25, wird umschlossen von acht gleichseitigen Dreiecken, welche in zwölf gleichen Kanten zusammentreffen. Der Winkel dieser Kanten beträgt 109° 28′ 16″. Je vier Kanten treffen sich in einer Ecke; solcher Ecken sind sechs vorhanden. In jeder Ecke endigt eine Achse, je zwei gegenüberliegende Ecken werden also durch eine Achse verbunden.

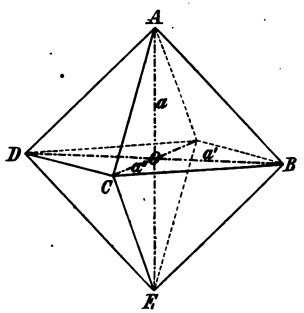


Fig. 25.

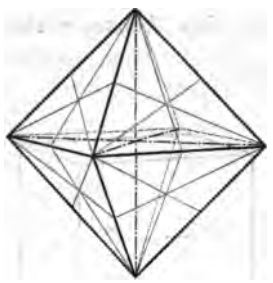


Fig. 26.

Schon im dritten Kapitel wurde bemerkt, dass den Krystallformen des regulären Systems neun Symmetrieebenen zukommen. Dieselben zerfallen in drei sog. Haupt-Symmetrieebenen, welche mit den Achsenebenen identisch sind, und in sechs gewöhnliche, von denen jede durch eine Achse geht und dabei den von den beiden anderen Achsen gebildeten rechten Winkel halbiert. In Fig. 26 sind die Durchschnitte der gewöhnlichen Symmetrieebenen mit den Flächen des Oktaeders mit schwächeren Linien eingezeichnet, während die Haupt-Symmetrieebenen, mit den Achsenebenen zusammenfallend, durch je vier Kanten des Oktaeders gehen.

Da jede Oktaederfläche die drei Achsen in gleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneidet, so kann man dieselbe nach dem Vorgange des berühmten Mineralogen Christian Samuel Weiß (Professor zu Berlin, gest. 1856) durch das Symbol $a:a:a$ bezeichnen. Carl Friedrich Naumann (Professor zu Leipzig, gest. 1873) drückte kürzer die Gesamtheit der acht Oktaederflächen, d. h. das Oktaeder als vollständige Form, durch das Zeichen O aus.

2. Der **Würfel** oder das Hexaeder (Sechsflächner), Fig. 27, unterscheidet sich von dem Oktaeder wesentlich dadurch, dass seine Flächen jedesmal nur eine Achse schneiden, den beiden anderen aber parallel gehen. Man gelangt also zu ihm, indem man durch die sechs, vom Achsenmittelpunkt gleich weit entfernten Endpunkte der drei Achsen je eine Fläche legt. Demnach wird der Würfel von sechs, sich unter rechten Winkeln schneidenden Flächen umschlossen, deren jede die Gestalt eines Quadrates besitzt. Die Zahl der Kanten beträgt zwölf; je drei Kanten stoßen zu einer Ecke zusammen. Solcher Ecken sind acht vorhanden.

Jede Fläche des Würfels geht einer Achsenebene parallel, und die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Flächen werden durch eine Achse verbunden. Von den neun Symmetrieebenen

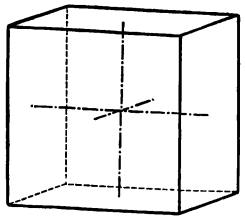


Fig. 27.

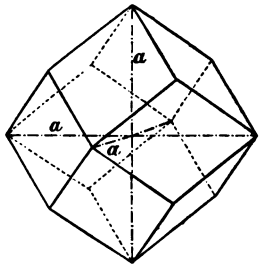


Fig. 28.

haben die drei Haupt-Symmetrieebenen eine zu den Flächen des Würfels parallele Lage, während jede der sechs übrigen (gewöhnlichen) Symmetrieebenen durch zwei gegenüberliegende Kanten und zwei diese verbindende Flächendiagonalen geht vergl. S. 17 und Fig. 6).

Da jede Würfelfläche nur eine Achse schneidet, den beiden anderen aber parallel geht, d. h. sie erst in unendlicher Entfernung trifft, so bezeichnet man dieselbe resp. den Würfel nach Weiß mit $\infty a : a : \infty a$. Naumann giebt dem Würfel das Symbol $\infty O \infty$, indem er denselben in der Weise vom Oktaeder ableitet, dass er sich die Oktaederflächen um einen Endpunkt je einer Achse so weit aus ihrer Lage gedreht denkt, bis sie den beiden anderen Achsen parallel gehen.

3. Das **Rhombendodekaeder** (Rhombenzwölfflächner, auch wohl kurz Dodekaeder genannt), Fig. 28, steht insofern gleichsam in der

Mitte zwischen dem Oktaeder und dem Würfel, als jede seiner Flächen zwei Achsen in gleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneidet, der dritten Achse aber parallel geht. Es wird umschlossen von zwölf kongruenten Rhomben mit dem stumpfen Winkel von 109° 28′ 16″, welche sich in vierundzwanzig gleichen Kanten von 120° schneiden. Von den vierzehn Ecken sind sechs vierflächig: je zwei der letzteren werden durch eine Achse verbunden, haben also eine den Ecken des Oktaeders, resp. den Flächen des Würfels entsprechende Lage. Die acht übrigen sind dreiflächig und liegen wie die Ecken des Würfels, resp. wie die Flächen des Oktaeders. Entsprechend der Lage seiner Flächen zu den Achsen erhält das Rhombendodekaeder das Symbol $a : a : \infty a$ oder ∞O. Zu dem letzteren Symbol gelangt man, wenn man sich die Flächen des Oktaeders so weit um eine Oktaederkante aus ihrer Lage gedreht denkt, bis sie der von jener Kante nicht getroffenen Achse parallel gehen. Während die Würfelflächen paarweise einer Haupt-Symmetrieebene parallel liegen, besitzen je zwei gegenüberliegende Rhombendodekaederflächen dieselbe Richtung wie eine gewöhnliche Symmetrieebene. Man kann demnach auch sagen, die Krystallformen des regulären Systems seien symmetrisch nach den Flächen des Würfels und des Rhombendodekaeders.

4. An das Rhombendodekaeder schließt sich naturgemäß das **Triakisoktaeder** Dreimalachtflächner an. Jede Fläche eines solchen schneidet nämlich gleichfalls zwei Achsen in gleicher, die dritte zwar nicht in unendlicher, aber doch in größerer Entfernung vom Achsenmittelpunkte. Da nun die Länge dieses dritten Achsenschnittes einen sehr verschiedenen, wenn auch stets dem S. 23 erwähnten Gesetze der rationalen Achsenschnitte folgenden Wert haben kann (z. B. $\frac{1}{2}a$, $2a$, $3a$ u. s. w.), so giebt es ebenso viele verschiedene Varietäten des Triakisoktaeders, während es naturgemäß nur ein Oktaeder, einen Würfel und ein Rhombendodekaeder geben kann. Fig. 29 stellt dasjenige Triakisoktaeder dar, bei welchem der dritte Achsenschnitt gleich $2a$ ist: die Entwickelung dieser Form haben wir schon im dritten Kapitel kennen gelernt und durch Fig. 10 veranschaulicht.

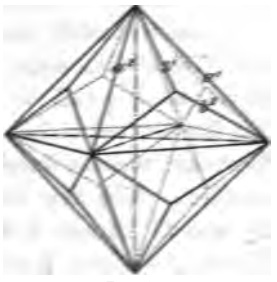


Fig. 29.

Jedes Triakisoktaeder wird von 24 gleichschenkligen Dreiecken umschlossen. Von seinen 36 Kanten besitzen die 12 längeren (in Fig. 29 z. B. a_1, a_2) gleiche Lage wie diejenigen des Oktaeders, die 24 kürzeren (z. B. b_1, b_2) liegen zu je drei über den Flächen des Oktaeders. Neben 8 dreiflächigen, gleichkantigen Ecken finden wir 6 achtflächige, ungleichkantige; erstere liegen wie die Flächen, letztere wie die Ecken des Oktaeders. Jede Achse verbindet zwei gegenüberliegende achtflächige Ecken. Man bezeichnet die Triakisoktaeder auch als Pyramidenoktaeder, da sie gewissermaßen ein Oktaeder darstellen, auf dessen Flächen sich eine dreiseitige Pyramide erhebt.

Da jede Fläche eines Triakisoktaeders zwei Achsen in einfacher Entfernung a, die dritte aber in größerer Entfernung ma schneidet resp. bei hinreichender Verlängerung schneiden würde, wobei m eine rationale ganze oder gebrochene Zahl und größer als 1 ist, so erhält diese Form im allgemeinen das Zeichen $a : a : ma$ oder mO. Je nach dem Werte, welchen m in jedem einzelnen Falle besitzt, erhält man die verschiedenen Varietäten des Triakisoktaeders. Am häufigsten kommen an den Krystallen vor $\frac{3}{2}O$, $2O$ und $3O$. Hinsichtlich der Lage der Symmetrieebenen ist zu bemerken, dass die drei Haupt-Symmetrieebenen durch je vier längere, die sechs gewöhnlichen durch je vier kürzere Kanten eines Triakisoktaeders gehen.

5. Ebenso wie vom Pyramidenoktaeder giebt es auch von den übrigen noch zu besprechenden Formen des regulären Systems verschiedene Varietäten. Die **Ikositetraeder** (Vierundzwanzigflächner) unterscheiden sich der Lage ihrer Flächen nach dadurch von den Triakisoktaedern, dass bei ihnen zwei Achsenschnitte zwar gleich aber größer sind als der dritte einfache Achsenschnitt. Ein Ikositetraeder, Fig. 30, wird umschlossen von 24 Deltoiden, d. s. Vierecke, welche durch eine ihrer Diagonalen symmetrisch halbiert werden. Von den 48 Kanten sind 24 länger (in Fig. 30 z. B. a_1, a_2) und 24 kürzer (z. B. b_1, b_2, b_3). Es finden sich dreierlei Ecken: 6 von gleichen Kanten gebildete vierflächige, 8 ebensolche dreiflächige und 12 von ungleichen Kanten gebildete vierflächige (s. die Ecke, wo die Kanten a_1, b_1 und b_2 mit einer vierten, a_1 gleichen, zusammentreffen). Die Achsen verbinden je zwei gegenüberliegende Ecken der ersten Art. Hieraus lässt sich leicht die Lage der Symmetrieebenen bestimmen. Da jede Fläche eines Ikositetra-

eders eine Achse in der einfachen Entfernung a, die beiden andern aber in einer größeren ma schneidet, so erhält diese Form das allgemeine Symbol $a : ma : ma$ oder mOm. Am häufigsten finden sich $2\,O\,2$ und $3\,O\,3$. Fig. 30 stellt die letztere, Fig. 31 die erstere Form dar.

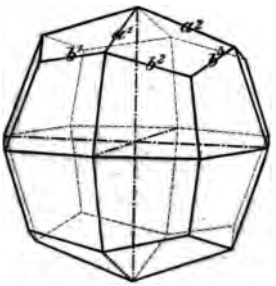


Fig. 30.

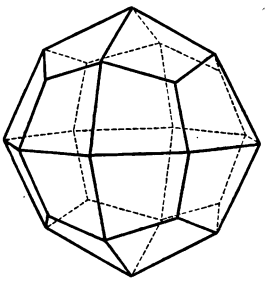


Fig. 31.

6. Die **Tetrakishexaeder** (Viermalsechsflächner) stehen in einer ähnlichen Beziehung zu dem Würfel, wie die Triakisoktaeder zu dem Oktaeder. Wie die Betrachtung der Fig. 32 lehrt, kann man sie gewissermaßen als Würfel ansehen, auf deren Flächen sich je eine stumpfe vierseitige Pyramide erhebt. Deshalb nennt man die Tetrakishexaeder auch Pyramidenwürfel. Ein Pyramidenwürfel wird umschlossen von 24 gleichschenkligen Dreiecken. Er besitzt 12 längere Kanten, welche wie die des Würfels liegen, und 24 kürzere, welche zu je vier über einer Fläche des eingeschriebenen Würfels zusammenstoßen. Die 14 Ecken liegen ähnlich wie die des Rhombendodekaeders. Sechs vierflächige werden zu je zwei durch eine Achse verbunden, während die acht sechsflächigen den Ecken des Würfels entsprechen. Jede Fläche eines Tetrakishexaeders schneidet eine Achse in der einfachen Entfernung a, eine zweite in der größeren na und geht der dritten parallel, daher das allgemeine Zeichen $a : na : \infty a$ oder $\infty\, On$. Die am häufigsten auftretenden Pyramidenwürfel sind $\infty\, O\frac{3}{2}$, $\infty\, O\,2$ und $\infty\, O\,3$. Fig. 32 stellt $\infty\, O\,2$ dar.

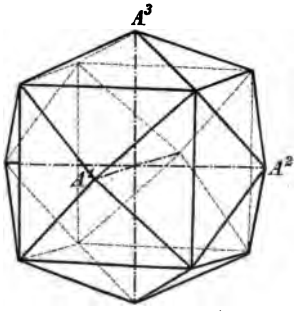


Fig. 32.

7. Die flächenreichsten Formen des regulären Systems sind die **Hexakisoktaeder** oder die Achtundvierzigflächner. Dieselben werden umschlossen von 48 ungleichseitigen Dreiecken. Von den 72 Kanten liegen 24 (in Fig. 33 z. B. die mit *a* bezeichneten) zu je 6 in einer Haupt-Symmetrieebene, 24 längere (*b*) und 24 kürzere (*c*) hingegen in den gewöhnlichen Symmetrieebenen. Die mit *a* und *b* bezeichneten Kanten bilden sechs achtflächige, die mit *a* und *c* bezeichneten zwölf vierflächige und die mit *b* und *c* bezeichneten acht sechsflächige Ecken. Die Ecken sind gelegen wie diejenigen der Ikositetraeder. Jede Fläche eines Hexakisoktaeders schneidet alle drei Achsen in ungleichen Entfernungen vom Achsenmittelpunkte: *a*, *ma* und *na*, wobei *n* größer als 1, *m* aber größer als *n* ist. Demnach ist das krystallographische Symbol dieser Formen im allgemeinen $a : ma : na$ oder mOn. Fig. 33 stellt das Hexakisoktaeder $3\,O\,\frac{3}{2}$ dar. Dasselbe gehört zu einer besonderen Klasse von Achtundvierzigflächnern, bei welcher die Koeffizienten *m* und *n* in der Beziehung zu einander stehen, dass $m + n = m \cdot n$ oder $n = \frac{m}{m-1}$ ist (hier $3 + \frac{3}{2} = 3 \cdot \frac{3}{2}$ oder $\frac{3}{2} = \frac{3}{3-1}$). Bei diesen Hexakisoktaedern gehen die Kanten *b* den Kanten des Rhombendodekaeders genau parallel, so dass sie gewissermaßen ein Rhombendodekaeder darstellen, auf dessen Flächen sich je eine stumpfe vierseitige Pyramide erhebt. Man kann sie deshalb, entsprechend den Pyramidenoktaedern und Pyramidenwürfeln, als Pyramidendodekaeder bezeichnen.

Fig. 33.

Außer $3\,O\,\frac{3}{2}$ finden sich noch ziemlich häufig die Hexakisoktaeder $4\,O\,2$ und $5\,O\,\frac{5}{3}$.

Die Beziehungen, in welchen die Krystallformen des regulären Systems zu einander stehen, lassen sich am besten erkennen, wenn man von einem Hexakisoktaeder mOn als dem allgemeinsten Falle ausgeht und zusieht, unter welchen Bedingungen die übrigen besprochenen Formen daraus hervorgehen würden. Während stets eine Achse in einfacher Entfernung vom Mittelpunkte geschnitten wird, können die beiden Koeffizienten *m* und *n* die verschiedensten Werte zwischen 1 und ∞ annehmen, vorausgesetzt, dass die be-

treffende Zahl keine irrationale ist. Wird $m = n$, so erhalten wir ein Ikositetraeder mOm, und ein Hexakisoktaeder nähert sich äußerlich einem solchen umsomehr, je näher der Wert von n demjenigen von m kommt. Wird $n = 1$, so geht das Hexakisoktaeder in ein Triakisoktaeder mO über; wird auch $m = 1$, so entsteht das Oktaeder O. Wächst aber anderseits der Wert von m bis zur unendlichen Größe, so verwandelt sich das Hexakisoktaeder in einen Pyramidenwürfel ∞On, welcher seinerseits für den Fall, dass $n = 1$ wird, in das Rhombendodekaeder ∞O übergeht. Wird sowohl m als auch $n = \infty$, so gelangen wir zur einfachsten Form, dem Würfel $\infty O \infty$.

Nachdem wir die einfachen Krystallformen des regulären Systems kennen gelernt, können wir dazu übergehen, kurz die wichtigsten Veränderungen zu besprechen, welche eine solche Form dadurch erfährt, dass an ihr zugleich die Flächen einer oder mehrerer anderen Formen erscheinen. Wir haben schon früher gesehen (vergl. Fig. 13), dass die sechs Ecken des Oktaeders durch die Flächen des Würfels gerade abgestumpft werden, wodurch eine Form entsteht, welche man als eine Kombination des Oktaeders mit dem Würfel bezeichnet. Treten zu irgend einer Form, die wir Grundform nennen wollen, die Flächen anderer Formen hinzu, so verändern die letzteren die Kanten oder Ecken der Grundform in gewisser Weise, und zwar unterliegen sämtliche gleichartige Kanten oder Ecken der nämlichen Veränderung. Dieselben erscheinen gerade oder schief abgestumpft, wenn sie durch eine Fläche ersetzt werden, hingegen »zugeschärft« resp. »zugespitzt«, wenn an ihre Stelle eine neue, in Wirklichkeit jedoch stumpfere Kante oder Ecke tritt. Diejenigen Kanten, in welchen zwei Flächen verschiedener Art, z. B. eine Oktaeder- und eine Würfelfläche zusammentreffen, nennt man Kombinationskanten. Man unterscheidet an einer Kombination vorherrschende und untergeordnete Formen, je nachdem die Flächen derselben mehr oder weniger ausgedehnt sind. Bei der krystallographischen Bezeichnung einer Kombination führt man die Zeichen der kombinierten Formen in der Reihe auf, wie sie der Ausdehnung ihrer Flächen nach aufeinander folgen. So erhält die Kombination Fig. 13 das Zeichen $O \cdot \infty O \infty$.

Die Art der Veränderung, welche eine Form durch die Flächen hinzutretender Formen erfährt, kann man im allgemeinen im voraus

erkennen, wenn man die verschiedenen Gestalten in paralleler Stellung, d. h. bei parallelen Achsensystemen mit einander vergleicht und dabei genau auf die jedesmalige Lage der Kanten und Ecken achtet (s. die obigen Figuren 25—33). Im Folgenden sollen einige, namentlich häufiger vorkommende Kombinationen angeführt werden. Während die Flächen des Würfels die Ecken des Oktaeders abstumpfen, stumpfen die Flächen des Oktaeders diejenigen des Würfels gerade ab (Fig. 34). Die zwölf Kanten des Würfels

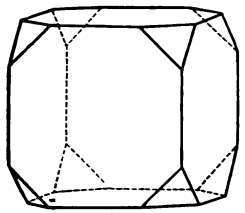


Fig. 34.

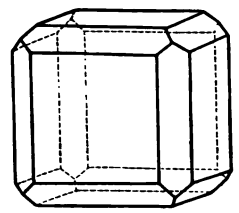


Fig. 35.

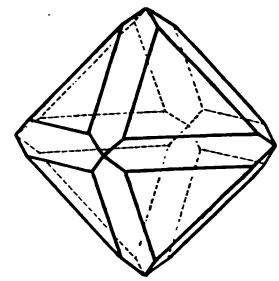


Fig. 36.

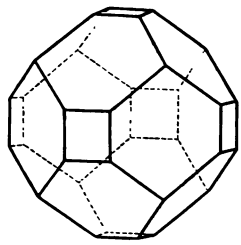


Fig. 37.

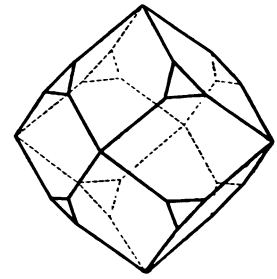


Fig. 38.

sowohl wie die des Oktaeders werden durch die Flächen des Rhombendodekaeders gerade abgestumpft (Fig. 35 und 36). Anderseits stumpft der Würfel die vierkantigen, das Oktaeder die dreikantigen Ecken von ∞O gerade ab (Fig. 37 und 38). Desgleichen stumpft der Würfel die an den Achsenendpunkten gelegenen achtkantigen Ecken, das Oktaeder die dreikantigen Ecken der Pyramidenoktaeder gerade ab. Umgekehrt schärfen die Flächen eines Pyramidenoktaeders die Kanten des Oktaeders zu (Fig. 39). Ein Ikositetraeder erscheint am Würfel als dreiflächige Zuspitzung der Ecken (Fig. 40). Die 24 Kanten des Rhombendodekaeders werden durch die Flächen des Ikositetraeders 202 gerade abgestumpft (Fig. 41). Die Pyra-

midenwürfel schärfen die Kanten des Würfels zu (Fig. 42). Am Oktaeder treten die Flächen der Hexakisoktaeder als achtseitige, am Würfel (Fig. 43) als sechsseitige Zuspitzungen der Ecken auf. Fig. 44 endlich stellt die vierzählige Kombination des Rhombendodekaeders (*d*), des Ikositetraeders 2 *O* 2 (*i*), des Würfels (*h*) und des Oktaeders (*o*) dar.

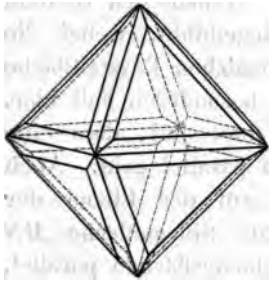


Fig 39.

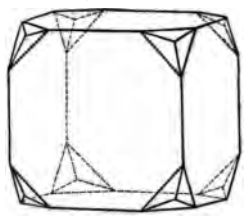


Fig. 40.

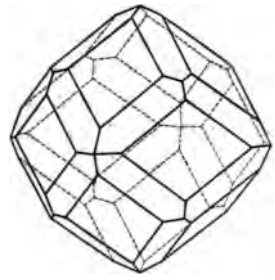


Fig. 41.

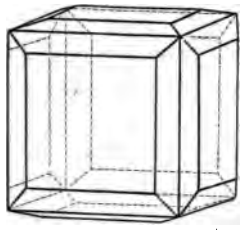


Fig. 42.

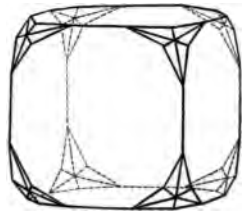


Fig. 43.

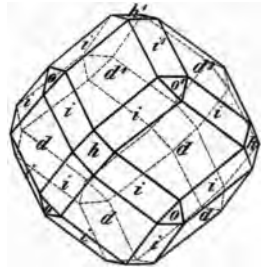


Fig. 44.

Es kommt sehr häufig vor, dass zwei Krystalle gleicher Art mit einander verwachsen. Hinsichtlich der Stellung, in welcher sich solche verbundene Krystalle zueinander befinden, sind drei mögliche Fälle zu unterscheiden: die gegenseitige Lage ist entweder 1. eine durchaus zufällige und regellose, oder sie ist 2. eine parallele, wobei alle Flächen und Kanten des einen Krystalles den entsprechenden des anderen gleichgerichtet sind, oder sie ist endlich 3. zwar keine parallele aber doch eine gesetzmäßige, d. h. es gehen einzelne Flächen und Kanten des einen Krystalles solchen des anderen parallel. Die letzte Art der Verwachsung ist es nun, welche in hohem Maße unser Interesse verdient. Sie liefert die außerordentlich häufig vorkommenden sog. Zwillingskrystalle oder Zwillinge.

Die Bildung von Zwillingskrystallen findet in jedem einzelnen Falle nach einem ganz bestimmten Gesetze statt, welches man das Zwillingsgesetz nennt. In der Regel lautet dasselbe dahin, dass die beiden Krystalle, welche den Zwilling bilden, zu irgend einer Krystallfläche, die an ihnen vorhanden ist oder doch vorhanden sein könnte, symmetrisch gestellt sind. In anderer Weise kann man dies so ausdrücken: der eine Krystall verhält sich zu dem anderen wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbilde, wobei die spiegelnde Ebene einer vorhandenen oder möglichen Krystallfläche parallel liegt. Fig. 45 macht dies für einen besonderen Fall klar. Sie stellt zwei Oktaeder dar, welche so gerichtet sind, dass eine Fläche des einen einer solchen des anderen parallel geht. Auch die gedachte, auf der Ebene der Figur senkrechte Spiegelfläche *MN* liegt diesen Oktaederflächen parallel, und der eine Krystall stellt das

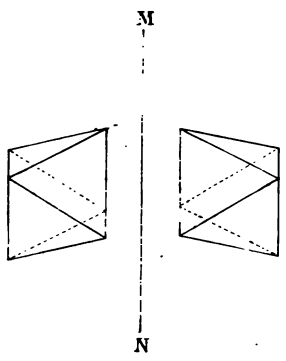


Fig. 45.

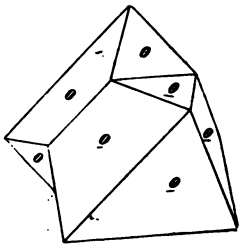


Fig. 46.

Spiegelbild des andern dar. Beide liegen also zur Spiegelfläche, resp. zu einer Oktaederfläche, symmetrisch und würden in dieser Stellung verwachsen einen Zwilling bilden. Man bezeichnet die Fläche, nach welcher die Krystalle symmetrisch liegen, hier eine Oktaederfläche, als Zwillingsebene und eine dazu senkrechte Linie als Zwillingsachse. Die nämliche gegenseitige Stellung beider Oktaeder oder vielmehr der beiden Hälften eines solchen — was in krystallographischer Beziehung keinen Unterschied ausmacht (s. unten) — erhält man auch, wenn man sich ein Oktaeder parallel einer seiner Flächen durchgeschnitten und die eine Hälfte um 180° gegen die andere gedreht denkt. Die Zwillingsachse ist dann zugleich Drehungsachse. Auf diese Weise veranschaulicht man die Zwillingsverwachsung an einem aus Holz ver-

fertigten Krystallmodell (s. Fig. 46, wo die Flächen der aus der üblichen Stellung in die Zwillingsstellung übergeführten Hälfte mit *o* bezeichnet sind).

Von besonderer Bedeutung ist der Umstand, dass die Zwillingsebene niemals einer Symmetrieebene der Krystalle parallel gehen kann. Wollte man z. B. ein Oktaeder nach einer Haupt-Symmetrieebene (d. i. parallel einer Würfelfläche) durchschneiden und die eine Hälfte um eine zur Schnittfläche senkrechte Linie um 180° drehen, so würden die beiden Teile sich wieder in der ursprünglichen parallelen Stellung befinden; man würde also auf diese Weise gar keinen Zwilling, sondern nur wieder ein einfaches Oktaeder erhalten.

Da es bei der Zwillingsbildung wesentlich nur auf die gegenseitige Stellung der mit einander verbundenen Krystalle ankommt, so unterliegt das Verhältnis ihrer Größe keiner bestimmten Regel. Die beiden Krystalle können ziemlich gleich groß oder auch von ganz verschiedener Größe sein, sie können ferner fast vollständig oder etwa nur zur Hälfte oder auch zu noch kleinerem Teile ausgebildet sein. Auch die Art ihrer Verwachsung kann eine sehr verschiedene sein. Häufig berühren sie sich in einer ebenen, einer Krystallfläche parallelen Fläche, etwa in der Zwillingsebene selbst, oft auch stoßen sie in einer mehr oder weniger unebenen Fläche zusammen. Nicht selten durchkreuzen oder durchdringen sich gleichsam die beiden mit einander vereinigten Krystallindividuen. Nach der Art der Verwachsung unterscheidet man demnach Berührungs- und Durchwachsungszwillinge.

Oft erscheinen an der Grenze beider Krystalle ein- oder ausspringende Kanten (Zwillingskanten), man erkennt dann die Grenze (Zwillingsgrenze) namentlich an den einspringenden Winkeln. Fallen aber an der äußeren Grenze die Flächen beider Individuen in eine Ebene, so bemerkt man oft die gerad- oder krummlinig verlaufende Grenze als eine feine Linie.

Oft legt sich an den zweiten Krystall nach dem nämlichen Gesetze ein dritter an, welcher mit dem ersten parallel ist, an den dritten wohl wieder ein vierter, welcher mit dem zweiten gleiche Stellung hat u. s. w. Dabei sind alle Zwillingsebenen einander parallel. Man erhält dasselbe Verhältnis der gegenseitigen Lage, wenn man einen Krystall zwischen zwei Planspiegel bringt, welche unter sich und zur Zwillingsebene parallel stehen. Die in

beiden Spiegeln auf einander folgenden Bilder stellen dann eine Reihe von in Zwillingslage befindlichen Krystallen dar, wovon die abwechselnden parallel sind. Eine derartige Verwachsung mehrerer Individuen bezeichnet man als wiederholte Zwillingsbildung. Dabei kommt es häufig vor, dass einzelne Individuen zu sehr dünnen Platten oder Lamellen zusammenschrumpfen, so dass man ihr Vorhandensein äußerlich nur mehr an einer feinen Streifung der von ihnen getroffenen Krystallflächen erkennen kann, welche man Zwillingsstreifung nennt. Drei nach Fig. 46 mit parallelen Zwillingsebenen verbundene Oktaeder können z. B. äußerlich fast wie ein einfaches Oktaeder erscheinen, während man bei genauerer Betrachtung eine in dasselbe eingeschaltete Zwillingslamelle entdeckt, welche beweist, dass zwei parallele Individuen (I, II) durch ein drittes sehr verkürztes (III), welches sich zu beiden in Zwillingsstellung befindet, vereinigt sind (Fig. 47).

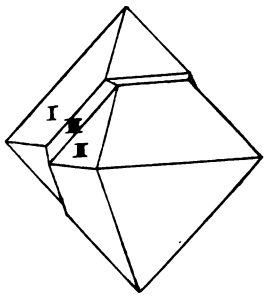


Fig. 47.

Eine und dieselbe Zwillingsbildung kann sich aber auch noch in anderer Weise fortsetzen. Dies geschieht dadurch, dass sich drei oder mehr Individuen nach demselben Zwillingsgesetze mit einander verbinden, ohne dass jedoch die Zwillingsebenen einander parallel sind. So kann sich z. B. an ein Oktaeder, welches schon mit einem zweiten nach Fig. 46 verwachsen ist, nach einer anderen Oktaederfläche als Zwillingsebene noch ein drittes anlagern, wobei alle drei Individuen eine verschiedene Stellung haben. Solche Verbindungen bezeichnet man im Gegensatz zur blos wiederholten Zwillingsbildung als Drillinge, Vierlinge u. s. w.

X.

Flussspat, Steinsalz, Bleiglanz, Kupfer, Silber, Gold, Granat.

Nachdem wir im vorigen Kapitel die Krystallformen des regulären Systems kennen gelernt haben, können wir nun einige in diesen Formen auftretende Substanzen näher betrachten. Selbstverständlich nehmen diejenigen hierhin gehörigen Stoffe, welche in in der Natur als verbreitete und oft in den schönsten Krystallen erscheinende Mineralien vorkommen, unser Interesse in besonderem Maße in Anspruch. Wir wählen aus denselben einige der wichtigsten aus.

1. **Flussspat** Fluorcalcium). Dieses, aus Fluor und Calcium nach der Formel $CaFl_2$ zusammengesetzte Mineral findet sich ziemlich häufig auf Gängen und Klüften in verschiedenen Gesteinen, wie im Granit, Gneiß, Thonschiefer u. a.; zuweilen füllt es einen Gang vollständig aus, so bei Liebenstein im Thüringerwald, wo es bis 13 Meter mächtig im Granit und Gneiß auftritt. Besonders gern erscheint der Flussspat als Begleiter verschiedener Erze, namentlich von Blei-, Silber-, Zinn- und Kupfererzen. Deshalb und wegen der großen Mannigfaltigkeit und Schönheit seiner Farben nannten ihn die alten Bergleute »Erzblume«.

Die bei weitem häufigste Krystallform des Flussspats ist der Würfel; man findet solche von über Faustgröße. Seltener erscheint er im Oktaeder, ausnahmsweise auch wohl im Rhombendodekaeder. Andere Formen kommen fast nur in Kombinationen mit den ersteren, namentlich mit dem Würfel vor. So z. B. das Tetrakishexaeder $\infty O 3$, das Ikositetraeder $2 O 2$ und das Hexakisoktaeder $4 O 2$.

Häufige Kombinationen sind: $\infty O \infty \cdot O$ Fig. 34; $O \cdot \infty O \infty$ Fig. 13; $O \cdot \infty O \infty \cdot \infty O$; $\infty O \infty \cdot \infty O 3$ Fig. 12; $\infty O \infty \cdot 2 O 2$ Fig. 10; $\infty O \infty \cdot \frac{1}{2} O 2$ Fig. 13. Die Flächen des Oktaeders sind gewöhnlich matt. Manchmal sind die Oktaeder aus vielen parallelen Würfelchen aufgebaut, welche sämtlich ihre Ecken nach den Oktaederflächen hinwenden. Es giebt sich darin wieder die vorherrschende Neigung des Flussspats zu erkennen, im Würfel zu krystallisieren. Die Hexakisoktaeder erscheinen meist mit sehr kleinen, aber glänzenden Flächen, welche zu je sechs eine Ecke des Würfels zuspitzen. Eine zierliche Gruppe von Flussspatwürfeln aus dem Schappachthal im Schwarzwalde stellt Fig. 18 dar. Auch an den Ecken dieser Würfel treten Hexakisoktaederflächen auf, allein so klein, dass sie in der Zeichnung keinen Platz finden konnten. Mit einer guten Lupe lassen sie sich jedoch an dem Handstücke deutlich wahrnehmen. In der Mitte der Druse haben sich zierliche, weiße Krystallchen von Quarz angesiedelt.

Fig. 18.

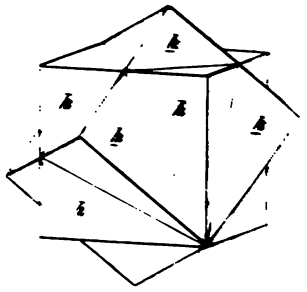
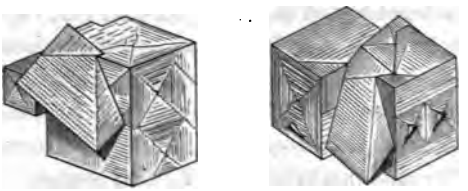


Fig. 19.

Der Flussspat zeigt oft, namentlich an gewissen Fundorten, eine charakteristische Zwillingsbildung. Es erscheinen nämlich zwei Würfel Fig. 19 so durch einander gewachsen, dass die Ecken des einen aus den Flächen des andern hervorbrechen. Die beiden Würfel befinden sich in symmetrischer Stellung zu einer Oktaederfläche, d. h. sie würden sich, von einander getrennt, zu einander verhalten wie Gegenstand und Spiegelbild, wenn die Spiegelfläche einer Oktaederfläche parallel geht. Wir haben demnach hier dasselbe Zwillingsgesetz wie in Fig. 16, nur besitzen die beiden Krystalle Würfelgestalt und sind nicht an einander, sondern durch einander gewachsen. Nun sind an den natürlich vorkommenden Zwillingen beide Individuen nur ausnahmsweise gleich groß, wie

in Fig. 49, und gerade so verbunden, dass ihre Mittelpunkte zusammenfallen. Im Gegenteil wird in der Regel weder das erstere, noch das letztere der Fall sein, weshalb die Flussspatzwillinge meist mehr oder weniger unregelmäßig und, wenn auch im wesentlichen übereinstimmend, sehr mannigfaltig gestaltet erscheinen. Ist z. B. ein Würfel beträchtlich kleiner als der andere, so ragen nur einige Ecken desselben um ein weniges über die Flächen des anderen hervor u. s. w.

Besonders schöne Zwillinge der genannten Art findet man in den Bleierzgruben von Cumberland und Durham in England. Fig. 50 giebt deren zwei von Werdale in Durham in naturgetreuer Zeichnung wieder. Jeder derselben besteht eigentlich, was sehr häufig vorkommt, aus drei Individuen: zwei unter sich parallele sind durch ein mittleres, welches sich zu beiden in Zwillingsstellung befindet, verbunden. Dies ist besonders deutlich an der zweiten Gruppe zu sehen. Der mittlere Krystall ist in die beiden mit ihm verwachsenen eingesenkt; aus einem der letzteren ragen zwei parallele, aus dem andern nur eine Ecke hervor. Sämtliche drei Ecken sind als dem mittleren Individuum angehörig zu betrachten, da sie die entsprechende Lage haben. Es kommt dabei nicht in Betracht, dass dieselben nicht genau als Fortsetzungen des mittleren Würfels erscheinen, und dass eine Ecke doppelt vorhanden ist, da dies nur eine Folge des ungleichmäßigen Wachstums des Krystalles ist, wovon das Gesetz nicht berührt wird. Auf den Flächen bemerkt man in der Regel eine Streifung nach den Würfelkanten. Dadurch entstehen wohl ganz stumpfe vierseitige Pyramiden, deren Spitze häufig gerade da liegt, wo die Ecke eines Würfels eine Fläche des andern durchbricht. Diese Pyramiden deuten ein sehr würfelähnliches Tetrakishexaeder an.



a. *b.*

Fig. 50.

Dass der Flussspat sehr deutlich nach den Oktaederflächen spaltbar sei, und dass er die Härte 4 besitze, wurde schon früher erwähnt. Seine Krystalle sind in der Regel gefärbt, so z. B. hell- bis dunkelviolett, himmelblau, blaugrün, smaragdgrün, gelb, rot,

fast schwarz. Hinsichtlich der Fluorescenz vergl. S. 46. Nicht selten treten an demselben Krystall verschiedene Farben auf. So kommen zu Freiberg in Sachsen hellgrüne Würfel mit roten Ecken vor, zu Wolkenstein honiggelbe mit dunkelviolettem Kern, zu Annaberg sogar solche, deren dunkelblauer Kern von farblosen, roten und gelben Schichten umgeben ist, während die äußerste Schicht eine hellgrüne Farbe zeigt. Wasserhelle, farblose Flussspatkrystalle kommen z. B. vor bei Waldshut in Baden, an der Oltschi-Alp im Haslithal (Berner Oberland) und bei Baveno.

2. Als zweites Beispiel wählen wir das **Steinsalz** oder Kochsalz *NaCl*, dessen Bekanntschaft wir gleichfalls schon bei mehreren Gelegenheiten (s. S. 30, 32 und Fig. 16, 17) gemacht haben. Dasselbe zeigt, wie der Flussspat, vorherrschend den Würfel, nach dessen Flächen es sehr vollkommen spaltbar ist. So kann man leicht aus größeren, aber krystallographisch einheitlichen Stücken regelmäßige Würfel herausspalten. Andere Formen, wie das Oktaeder oder der Pyramidenwürfel $\infty O 2$, sind selten.

Das Steinsalz ist bekanntlich in Wasser leicht löslich. Aus einer solchen Lösung kann man bei sehr langsamem Verdunsten klare Würfel erhalten. Dampft man jedoch die Lösung rasch ein, so bilden sich an der Oberfläche der Flüssigkeit eigentümliche, aus vielen parallelen Würfelchen aufgebaute, vierseitige Trichter oder Schüsselchen, welche sich allmählich vergrößern und schließlich zu Boden sinken. In ihrer vollkommensten Ausbildung stellen sie gleichsam ein Würfelskelet dar, d. h. einen Würfel, dessen Flächen sich treppenartig vertiefen, wodurch die Kanten mehr hervortreten (Fig. 51). In den Sudpfannen der Salinen wird das Kochsalz in solchen Skeleten abgesetzt.

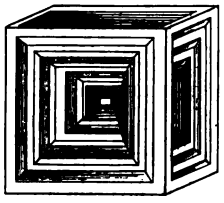


Fig. 51.

Die natürlichen Steinsalzkrystalle sind meist farblos oder weiß, das körnige Salz hingegen, welches die Hauptmasse der Salzlagerstätten bildet, ist oft grau oder grün gefärbt, wie bei Wieliczka in Galizien, auch gelb, rot oder braun, wie im Salzkammergut. Blaues Steinsalz ist selten. Löst man dasselbe in Wasser auf oder erhitzt es, so verschwindet die Farbe. Wahrscheinlich rührt dieselbe, ebenso wie beim Flussspat, von einer beigemengten organischen

Substanz her. Das rote Salz von Berchtesgaden hinterlässt beim Lösen einen Rückstand, welcher bald anfängt zu gähren und dabei einen üblen Geruch verbreitet. Das körnige Steinsalz enthält oft Einschlüsse einer Salzlösung, zuweilen sogar solche eines gasförmigen Körpers, vielleicht von Wasserstoff. Wirft man Stücke des sogen. Knistersalzes von Wieliczka in eine Schüssel mit Wasser, so bemerkt man von Zeit zu Zeit ein knackendes Geräusch: das eingeschlossene Gas entweicht bei der Auflösung und erzeugt Bewegungen im Wasser. Außer im festen Zustande als eigentliches Steinsalz findet sich Chlornatrium bekanntlich gelöst in Salzquellen oder Salzsolen, Salzseen und im Meerwasser, woraus es als Koch- und Seesalz gewonnen wird. Ursprünglich rührt jedoch alles Salz aus dem Meere her, da die Steinsalzlager jedenfalls Niederschläge ausgetrockneter Seen sind, und die Salzquellen sich durch Berührung des Wassers mit unterirdischen Salzlagern gebildet haben.

Nicht selten krystallisiert eine Substanz aus einer Lösung, in welcher noch ein zweiter Stoff enthalten ist, in anderer Form, als aus der reinen Lösung. Setzt man z. B. einer Kochsalzlösung kohlensaures Natron (Soda) bis zur Sättigung zu, so scheiden sich beim Verdunsten kleine Oktaeder von Chlornatrium aus. Diesem Verhalten entspricht die Thatsache, dass in den sodahaltigen Natronseen Ägyptens Steinsalzkrystalle vorkommen, welche entweder das Oktaeder allein, oder dasselbe in Kombination mit dem Rhombendodekaeder und Würfel zeigen.

3. Der **Bleiglanz** (Schwefelblei *PbS*) kommt sehr verbreitet und in großer Menge vor und ist das wichtigste Erz zur Gewinnung des Bleis. Die an seinen Krystallen vorherrschenden Formen sind der Würfel und das Oktaeder. Nach den Flächen des ersteren zeigt er eine so vollkommene Spaltbarkeit, wie sie wohl kaum an einem anderen regulären Körper zu beobachten ist; daher wurde er früher auch »Würfelerz« genannt. Sehr oft treten Würfel und Oktaeder in Kombination auf, zuweilen gesellt sich dazu das Rhombendodekaeder, welches die Kanten des vorherrschenden Würfels resp. des Oktaeders gerade abstumpft. Außer den genannten Formen sind es noch namentlich Pyramidenoktaeder und Ikositetraeder, welche an den Krystallen des Erzes erscheinen. Nicht selten werden die Kombinationskanten zwischen dem Rhombendodekaeder und Oktaeder durch das Pyramidenoktaeder 2 *O* abgestumpft, ja es finden sich stellenweise (z. B. zu Oberlahr bei Altenkirchen in Westfalen) Blei-

glanzkrystalle, an welchen 2 *O* vorherrscht. Bei solchen von Neudorf bei Harzgerode herrscht oft das Oktaeder vor, während untergeordnet außer 2 *O* auch 3 *O* erscheint. Von Ikositetraedern beobachtet man hauptsächlich 3 *O* 3 und 2 *O* 2, letzteres seltener. Auch die Würfel verraten manchmal eine Neigung zur Bildung von Ikositetraedern, indem ihre Flächen parallel den Kanten leicht geknickt sind. Dadurch zerfällt jede Würfelfläche im einfachsten Falle in vier Teile; jeder Teil hat die Form eines dem Quadrat äußerst nahe kommenden Trapezoides. Das Ganze ist eigentlich kein Würfel mehr, sondern ein sehr würfelähnliches Ikositetraeder (in ähnlicher Weise deutete die an den Flussspatzwillingen erscheinende Streifung auf einen, dem Würfel sehr nahe kommenden Pyramidenwürfel hin). Einem solchen Ikositetraeder kann man nur im allgemeinen das Symbol *m O m* (mit sehr großem *m*) geben, da es nicht wohl möglich ist, dasselbe genauer zu bestimmen. Derartige Krystalle finden sich z. B. in Cumberland, bei Zell a. d. Mosel, Neudorf u. a. O. Sind die Ecken eines solchen geknickten Würfels durch das Oktaeder abgestumpft, so bemerkt man wohl an Stelle der Kombinationskanten schmale Flächen des Ikositetraeders 3 *O* 3, ja es erheben sich unvermittelt auf den Flächen des Oktaeders zierliche kleine, dreikantige Ecken, welche gleichfalls dem genannten Ikositetraeder angehören (Fig. 52). Auch hierin erkennt man wieder das Bestreben des Bleiglanzes, ikositetraedrische Formen zur Ausbildung zu bringen.

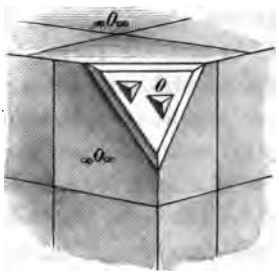


Fig. 52.

Zu den größten Seltenheiten gehören beim Bleiglanz, ganz entgegengesetzt wie beim Flussspat, die Flächen von Hexakisoktaedern. Man hat solche z. B. an den Krystallen von Freiberg in Sachsen beobachtet.

Gar oft sind die Flächen der Bleiglanzkrystalle uneben, gekrümmt; manche Krystalle sehen wie geflossen aus, indem auch die Kanten sich abrunden, und auf den Flächen allerlei unregelmäßige Erhöhungen sich zeigen. Die Farbe ist bleigrau; zuweilen sind die Krystalle schön bunt angelaufen. Sie zeigen meist lebhaften Metallglanz, welcher namentlich auf den Spaltungsflächen so intensiv ist, dass man den Bleiglanz als den Diamant unter den Erzen bezeichnet

hat. Die Härte liegt zwischen der des Gypses und des Kalkspats, sie wird demnach durch 2,5 ausgedrückt.

Eine ziemlich häufige Erscheinung beim Bleiglanz ist die Zwillingsbildung nach *O*. Die mit einander verwachsenen Individuen erscheinen in der Regel in der Kombination $O \cdot \infty O \infty$ und verkürzt nach der zur Zwillingsebene senkrechten Richtung. Sie sind entweder an einander gewachsen, wie es z. B. Fig. 53 zeigt, wo der Zwilling (abweichend von Fig. 46) keine einspringenden Kanten besitzt, oder durch einander gewachsen, oder es greift endlich das eine Individuum stellenweise über das andere hinaus. Letzteres kann in mannigfaltigster Weise geschehen; eine derartige Ausbildung des Zwillings stellt Fig. 54 dar. Zuweilen bemerkt man auf den Spaltungsflächen feine Zwillingslamellen, welche einem anderen als dem eben erwähnten Zwillingsgesetze entsprechen, indem sie nach den Flächen eines Pyramidenoktaeders $\frac{4}{3} O$ eingefügt sind.

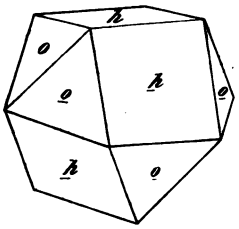


Fig. 53.

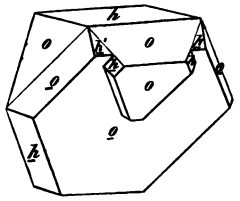


Fig. 54.

In den Bleiöfen bilden sich manchmal bunt angelaufene Würfelskelette von Bleiglanz, welche ganz ähnlich gestaltet sind, wie die in Fig. 51 dargestellten Krystallskelette von Kochsalz. Sie gehören zu den schönsten krystallisierten Hüttenprodukten. Der Bleiglanz besitzt oft einen geringen Gehalt an Silber, welcher gewöhnlich nur 0,01 bis 0,03 % beträgt, in seltenen Fällen jedoch bis zu 1 % steigt. Häufig lohnt es sich, das Silber abzuscheiden.

Hinsichtlich des Vorkommens sei noch erwähnt, dass der Bleiglanz hauptsächlich in Gängen auftritt, wo er meist von anderen Erzen, sowie von Quarz, Kalkspat, Schwerspat und Flussspat begleitet wird. So erscheint er z. B. im Granit, Gneiß und Thonschiefer. Besonders charakteristisch ist aber sein Vorkommen im Kalkstein und Dolomit. Hier findet er sich in großer Menge in

Gängen und Nestern*), sowie als Auskleidung von Höhlungen (England, Spanien, Kärnthen, Amerika).

4. Unter den in der Natur gediegen vorkommenden Metallen sind es besonders das Kupfer, Silber und Gold, welche die Aufmerksamkeit der Krystallographen auf sich gezogen haben. Dieselben krystallisieren sämtlich (wie auch Blei, Eisen, Platin u. a.) im regulären System und zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Krystalle oft nach gewissen Richtungen verlängert, also verzerrt sind, wodurch — in Verbindung mit häufiger Zwillingsbildung nach den Flächen des Oktaeders — sehr merkwürdige Gestalten zum Vorschein kommen. Auch die nicht deutlich krystallisierten Massen zeigen oft die mannigfaltigsten Formen, sie erscheinen blech-, zahn-, draht- und haarförmig, sehr oft gekrümmt. Es ist anzunehmen, dass auch hier verzerrte oder sonst deformierte Krystalle und zwillingsartige Verbindungen vorliegen.

Das **Kupfer** findet sich oft deutlich krystallisiert und zwar hauptsächlich im Oktaeder, Würfel, Rhombendodekaeder und Pyramidenwürfel $\infty O 2$. Sämtliche genannte Formen treten selbständig und in Kombinationen auf. Am Superior-See kommen die schönsten Dodekaeder von fast 3 cm Durchmesser vor. Daselbst beobachtet man auch den Pyramidenwürfel $\infty O \frac{5}{2}$, seltener $\infty O 3, \infty O 4$ und $\infty O \frac{5}{3}$. Häufig sind aber die Krystalle verzerrt und die Flächen einer Form treten unvollzählig auf, wodurch Gestalten entstehen, deren krystallographische Deutung oft nicht geringe Schwierigkeiten verursacht.

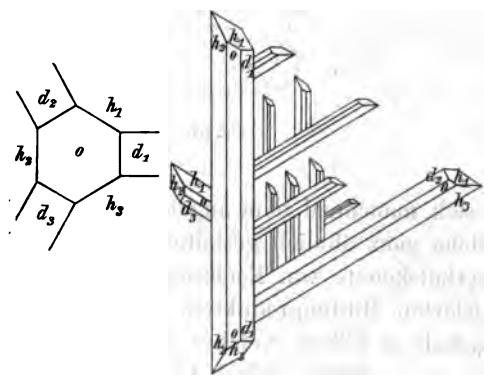


Fig. 55.

Fig. 55 stellt ein interessantes Vorkommen von Bogoslowsk am nördlichen Ural dar. Zum besseren Verständnis ist zunächst links eine in der Ebene der Figur liegende Oktaederfläche o mit den anstoßen-

*) Als Nester bezeichnet man kleinere Anhäufungen eines Minerals, welche unregelmäßig zerstreut im Gestein auftreten.

den Flächen des Würfels h_1, h_2, h_3 und des Rhombendodekaeders d_1, d_2, d_3 gezeichnet. Das Krystallgebilde ist nun aus einer Reihe von Strahlen zusammengesetzt, welche sich sämtlich unter 60° schneiden. Jeder Strahl zeigt Flächen des Oktaeders, des Würfels und des Dodekaeders, aber unvollzählig, wie ein Vergleich mit der nebenstehenden Hilfsfigur ergiebt. Man erkennt an den eingeschriebenen Buchstaben, welche Flächen des Würfels und des Dodekaeders in dem einzelnen Falle vorhanden sind. Die Streckung der Krystalle, also die Längsrichtung der Strahlen geht jedesmal einer Kombinationskante des Oktaeders mit dem Würfel resp. dem Dodekaeder parallel. An den Hauptstrahl haben sich die Nebenstrahlen so angesetzt, dass die vorhandenen Oktaederflächen alle mit einander (hier mit der Ebene der Zeichnung) parallel liegen. Allein es ist auch überhaupt hinsichtlich der krystallographischen Stellung kein Unterschied zwischen den einzelnen Strahlen vorhanden, alle bilden im Grunde genommen nur einen einzigen Krystall. Würden die Zwischenräume zwischen den Strahlen durch entsprechende Verdickung derselben ausgefüllt, und fände ein gleichmäßiges Fortwachsen des ganzen Gebildes nach allen Flächen der an ihm beteiligten Formen statt, so würde daraus ein einfacher Krystall der Kombination $O \cdot \infty O \cdot \infty O \infty$ hervorgehen. Statt dessen setzen sich an die dickeren Strahlen gern immer neue dünnere an, wodurch sogen. dendritische, d. h. baumartig verzweigte Formen und schließlich mehr oder weniger geschlossene und nach einer Oktaederfläche ausgedehnte Platten entstehen.

An solchen Dendriten oder Platten findet man aber bei genauerer Untersuchung doch noch eine Zwillingsbildung nach jener Oktaederfläche. Die hintere (in der Figur also nicht sichtbare) Seite der Strahlen resp. des ganzen Gebildes befindet sich nämlich gegen die vordere in Zwillingsstellung, was man auch so ausdrücken kann, dass man sagt, sie sei gewissermaßen gegen die vordere um eine zur Ebene der Zeichnung (resp. zur Oktaederfläche o) senkrechte Linie um 180° gedreht. Es ist genau dasselbe Verhältnis, welches Fig. 53 darstellt, der Unterschied liegt nur in der verschiedenen äußeren Gestaltung des Zwillings.

Deutlicher und mehr in die Augen fallend ist die Zwillingsbildung nach demselben Gesetze, welche man z. B. an gewissen Kupferkrystallen von Betzdorf a. d. Sieg und Schneeberg in Sachsen beobachtet. Die einzelnen Individuen zeigen nur die Flächen des

Oktaeders und sind entweder so verwachsen, dass alle Zwillingsebenen parallel gehen (wiederholte Zwillingsbildung, vergl. Fig. 47), oder dass dieselben zu einander geneigt sind. Im letzteren Falle gruppieren sich um ein Kernoktaeder Zwillingsindividuen nach vier nicht parallelen Oktaederflächen (oft sind sie dem Kernoktaeder nur in Form von Lamellen eingelagert), oder die Zwillingsgruppe zeigt eine in sich zurücklaufende kreisförmige Anordnung der einzelnen Individuen Fig. 56). Durch fünf Oktaeder wird der Kreis bis auf einen Winkel von 7° 20′ ausgefüllt $360° - 5 \cdot 70° 32' = 7° 20'$.

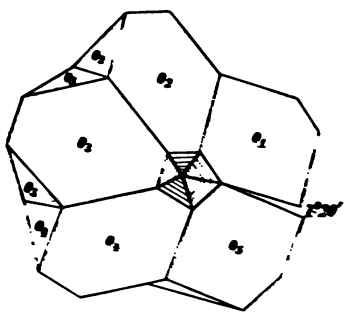


Fig. 56.

Das Silber krystallisiert gewöhnlich im Würfel, doch auch häufig im Oktaeder, seltener im Rhombendodekaeder. Ferner beobachtet man das Ikositetraeder $3\,O\,3$ und mehrere Pyramidenwürfel, wie $\infty O 2$, $\infty O \frac{3}{2}$ und $\infty O 4$. An den Krystallen mit vorherrschendem Würfel erscheinen meist noch Flächen des Oktaeders und von Pyramidenwürfeln, an denjenigen mit vorherrschendem Oktaeder oft die Flächen von $3\,O\,3$. Zwillinge nach den Flächen des Oktaeders finden sich besonders schön zu Kongsberg in Norwegen und zwar sind die verbundenen Individuen sowohl an einander als auch durch einander gewachsen. Die Aneinanderwachsungszwillinge weisen sehr oft die Form des Ikositetraeders $3\,O\,3$, häufig auch die Kombination $O \cdot \infty O \infty$ auf, während die Durchwachsungszwillinge als Würfel erscheinen, aus deren Flächen, ähnlich wie beim Flussspat Fig. 49), die Ecken des zweiten Individuums herausragen.

Keine Krystalle haben so entschiedene Neigung, dendritische Formen zu bilden, als die des Silbers. An ein Oktaeder setzen sich z. B. in der Richtung der krystallographischen Achsen immer neue Oktaeder in paralleler Stellung an: dadurch entstehen Strahlen, welche sich unter rechten Winkeln schneiden, woran sich immer wieder neue Strahlen oder Äste anfügen. Das ganze Gebilde ist im Grunde genommen nur ein einziges Oktaeder so bei Wittichen im Schwarzwald. Eine ähnliche dendritische Bildung von Silber Kongsberg stellt Fig. 57 dar, doch ist dieselbe weit weniger regelmäßig, indem nur die Enden der Äste vollkommene Oktaeder tragen, welche zudem stark gegen einander

verdreht sind, so dass nur noch die zu demselben Aste gehörigen sich in paralleler Stellung befinden. Verschmelzen die parallelen nach einer Achse an einander gereihten Individuen vollständig mit einander, so dass sie nicht mehr durch einspringende Winkel getrennt sind, so entsteht ein einfacher nach der Achse verzerrter, d. i. gestreckter Krystall, welcher seitlich von vier Flächen des Rhombendodekaeders, an den beiden Enden hingegen von denen des Oktaeders begrenzt wird. Doch findet nicht nur nach den krystallographischen Achsen, sondern auch noch nach anderen Richtungen eine derartige Aneinanderreihung resp. Streckung der Krystalle statt. So nach einer Kante des Oktaeders oder, was dasselbe ist, nach einer Kombinationskante des Oktaeders mit dem Würfel resp. dem

Fig. 57.

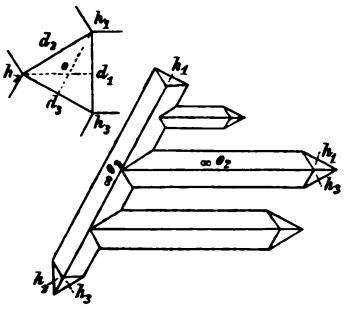


Fig. 58.

Rhombendodekaeder. Es ist dies ganz die gleiche Verzerrung, welche wir schon oben beim Kupfer kennen gelernt haben. Eine dritte Art der Streckung ist die nach einer sogen. Diagonale einer Oktaederfläche, d. h. nach einer Linie, welche eine Ecke des gleichseitigen Dreiecks mit der Mitte der gegenüberliegenden Seite verbindet. Für jede Oktaederfläche giebt es natürlich deren drei, sie fallen in ihrer Richtung zusammen mit den in der Oktaederfläche liegenden Senkrechten zu den Kombinationskanten von Oktaeder und Würfel. In Fig. 55 liegen sie also normal zu den Kanten o/h_1, o/h_2 und o/h_3. Die drei Richtungen schneiden sich unter einem Winkel von 60°. Setzen sich nun an einen, nach einer solchen Richtung gestreckten Krystall andere nach der zweiten oder dritten Richtung gestreckte an, so entstehen dendritische Formen. Eine solche von Mexiko stellt

Fig. 58 dar. Die Hilfsfigur links zeigt die in der Ebene der Zeichnung liegende Oktaederfläche (*o*) nebst den sie umgebenden Flächen des Würfels (*h*) und des Dodekaeders (*d*). Zwei Diagonalen der Oktaederfläche sind punktiert gezeichnet; es sind dieselben, nach welchen der Hauptstrahl und die Nebenstrahlen gestreckt sind. Die seitlichen Flächen der Strahlen gehören einem Pyramidenwürfel $\infty O2$ an, die Endflächen sind solche des Würfels, und zwar am Hauptstrahl h_1, h_2, h_3, an den Nebenstrahlen h_1 und h_3. Auf der hinteren (in der Figur nicht sichtbaren) Seite sind die Strahlen in derselben Weise begrenzt, doch befindet sich dieselbe, ebenso wie beim Kupfer, gegen die vordere Seite in Zwillingsstellung, wobei die zur Ebene der Zeichnung parallele, die Strahlen halbierende Oktaederfläche Zwillingsebene und Zusammenwachsungsfläche ist. Das Ganze stellt also wieder einen Zwilling nach *O* dar, wobei die beiden mit der Zwillingsebene aneinandergewachsenen Individuen in der zu dieser Ebene senkrechten Richtung verkürzt sind.

Interessant ist ein Vergleich der Fig. 58 mit Fig. 55. Beide Gebilde befinden sich hier genau in derselben krystallographischen Lage, die Streckungsrichtungen bilden jedoch unter einander Winkel von 30°, so dass, falls die Streckung jedesmal nach allen drei Richtungen stattfände, die Strahlen der einen Gruppe, zwischen die der anderen gelegt, die Winkel derselben halbieren würden.

Die beschriebene Art der Streckung und der Bildung von dendritischen Formen nebst Zwillingsbildung findet sich auch häufig an den Silberkrystallen von Kongsberg, an welchen dann besonders gern das Ikositetraeder $3O3$ mit unvollzähliger Ausbildung seiner Flächen erscheint. Die einzelnen nach *o* verzwillingten Strahlen werden seitlich von vier Ikositetraederflächen und zwei der Zwillingsebene parallelen Oktaederflächen begrenzt, während an ihren Enden im einfachsten Falle je vier weitere Flächen von $3O3$ auftreten. Indem sich nun eine sehr große Zahl von stärkeren und feineren Strahlen nach den drei Diagonalen der als Zwillingsebene erscheinenden Oktaederfläche dicht an einander reihen, entsteht eine vollständig geschlossene Platte. Man hat solche Platten von wahrhaft kunstvollem Baue und ungewöhnlicher Schönheit gefunden.

Schließlich sei noch auf ein prachtvolles Gebilde von gediegenem Silber hingewiesen, welches sich in der Bonner Universitäts-Sammlung befindet und gleichfalls von Kongsberg stammt (Fig. 59). Dasselbe besteht aus eigenthümlich gebogenen oder geknickten, manchmal in

feine gekrümmte Spitzen auslaufenden Ästen, welche an einzelnen Stellen kurze sechsseitige Säulen von Magnetkies (*M*) tragen. Mit dem Edelmetall innig verwachsen erscheinen Kalkspat und Flussspat (*K*). Stellenweise nimmt man an dem Silber Flächen des Würfels (s. bei *a*), des Dodekaeders und des Oktaeders wahr, auch zeigen sich zahlreiche Streifen, welche auf wiederholte Zwillingsbildung nach *O* hindeuten.

Fig. 59.

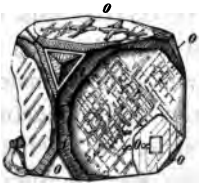


Fig. 60.

Die Krystalle des **Goldes** erscheinen gewöhnlich als Würfel oder Oktaeder, doch treten auch nicht selten die Flächen des Rhombendodekaeders auf, sowie, selbständig oder in Kombination mit den genannten Formen, das Ikositetraeder 3 *O* 3 und der Pyramidenwürfel ∞ *O* 2. Seltener sind 2 *O* 2, ∞ *O* 3 und das Hexakisoktaeder 4 *O* 2. Die Flächen der Goldkrystalle sind oft uneben, die Kanten wenig scharf; häufig sind die Krystalle undeutlich oder verzerrt. Am bekanntesten in Deutschland sind die blassfarbigen, weil stark silberhaltigen Krystalle aus Siebenbürgen; namentlich von Vöröspatak. Einen solchen zeigt Fig. 60 vergrößert. Derselbe besitzt im wesentlichen Würfelform. Die Flächen des Würfels tragen nach den Diagonalen verlaufende, oft sich kreuzende Leisten. Die Ecken sind durch die Flächen des Oktaeders abgestumpft, welch letztere meist von den Flächen eines Ikositetraeders *i* (wohl 3 *O* 3) eingefasst sind. Diese Flächen *i* bilden in der Regel einen etwas über die Würfelflächen vorspringenden Saum und brechen unregelmäßig begrenzt ab. Die Würfelflächen liegen also im Verhältnis hierzu etwas vertieft. Auf einer Oktaederfläche (vorn oben) erhebt sich eine kleine dreiseitige Pyramide, von drei Flächen des erwähnten Ikositetraeders gebildet. Zu Vöröspatak kommen auch schöne Zwillinge nach dem Oktaeder vor, welche nicht selten in der Form des Ikositetraeders 3 *O* 3 oder

des Pyramidenwürfels $\infty O 2$ erscheinen. Sogar Fünflinge, wie Fig. 56 einen solchen darstellt, hat man daselbst angetroffen. Besonders prächtig und interessant sind aber die Goldplatten, welche aus vielen nach den Diagonalen einer Oktaederfläche gestreckten und nach derselben Fläche verzwillingten Strahlen zusammengesetzt sind. Es liegt ihrem Baue dasselbe Gesetz zu Grunde, welches die Bildung der oben in Fig. 58 wiedergegebenen Gruppe beherrscht. Eine solche Platte von hervorragender Schönheit beschrieben Hessenberg und vom Rath. Die einzelnen Strahlen derselben zeigen die Flächen von O, $\infty O \infty$ und ∞O. Die genannten Forscher schildern diese Platte mit folgenden Worten:

»In den kleinsten Teilen des Gebildes sieht man es überall glänzen und spiegeln. Als besondere Eigentümlichkeit fällt auf der oktaedrischen Tafelfläche eine dreifache, unter 60° sich schneidende, reihenweise Anordnung und Verbindung der aufsitzenden Kryställchen und feinsten Teile in die Augen, indem dieselben sich hier wie Perlen an einander reihen, dort zu schnurgeraden Stäbchen und Bändern verlängern, auch in einander übergehen und so ein gleichseitig dreieckiges, zierliches Netz- und Maschenwerk bilden. Die Richtung dieser Stäbchen und Reihen ist senkrecht zu den Kombinationskanten zwischen Würfel und Oktaeder, d. i. parallel mit den Diagonalen der Oktaederfläche. Besonders auf der einen Flachseite der Platte steigert sich dieser verwickelte Bau zur größten Zierlichkeit. Die Erscheinung ist hier die eines spiegelnden Goldblechs, dessen Fläche dreiseitig durchzogen und nur teilweise überragt ist mit Systemen von geradlinigen Stämmen, Ästen und Zweigen, auch federartigen und stickereiähnlichen Gebilden, welche sich gegen den Rand mehr verfransen, so dass sich das bewaffnete Auge daselbst wie in einem Wald der feinsten, baumähnlichen und anderen nachahmenden Gestalten verliert. Gewisse Teile der Platte, mit der Lupe betrachtet, ähneln dem herrlichsten Goldbrokat.« Indem vom Rath auf dieses wie auch auf andere, nadelförmige Gebilde des krystallisierten Goldes hinweist, sagt er: »Wie dieses Edelmetall an Wert und Schönheit fast alle anderen Körper übertrifft, so erweckt auch seine Krystallisation ein ungewöhnliches Interesse und steht nur hinter wenigen Mineralien in Bezug auf Mannigfaltigkeit und Zierlichkeit der Formen zurück.«

Eine andere Art von Verzerrung und Aneinanderreihung von Goldkrystallen, als sie die beschriebene Platte zeigt, und ohne gleich-

zeitige Zwillingsbildung wurde in neuester Zeit an einem Vorkommen von Oregon (Nordamerika) beobachtet. Die daher stammenden zarten Krystallästchen und baumartigen Gebilde, deren Schönheit und Zierlichkeit nach dem Urteile von E. S. Dana vielleicht einzig in ihrer Art ist, bilden eine hervorragende Zierde der amerikanischen Sammlungen. Dieselben bestehen aus aneinander gereihten Kryställchen der Form 3 *O* 3, doch sind die letzteren verzerrt in der Richtung senkrecht zu einer Oktaederfläche, einer sog. trigonalen Achse. Die einfachen Krystallästchen sind aus einer dichtgedrängten Reihe solcher Krystalle in paralleler Stellung aufgebaut, wie dies Fig. 61 veranschaulicht. Das Endkryställchen ist meist größer als die anderen, häufig skeletartig mit vorspringenden Kanten, der größte Teil der Fläche eingedrückt und, wie es scheint, aufgebaut aus einer Reihe zierlicher paralleler Drähtchen aus mattem Gold, welche die zartesten von einem geschickten Goldarbeiter gemachten Ornamente nachahmen. Indem nun aus einem solchen Ästchen andere Äste und Zweige in der Richtung einer anderen trigonalen Achse hervorbrechen, entstehen dendritische Formen, wie eine solche Fig. 62 darstellt. Manchmal geht von einem einzelnen Aste eine Reihe feiner Fädchen aus, bei anderen ist diese Verzweigung wiederholt, aber mit solcher Vollkommenheit, dass jedes einzelne Kryställchen deutlich unterschieden werden kann. —

Fig. 61.

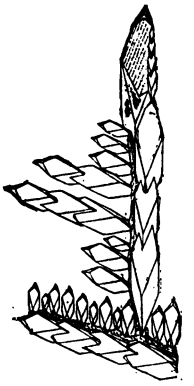


Fig. 62.

Das Kupfer findet sich auf Gängen, Lagern und in Nestern, ferner eingesprengt*) und in den Blasenräumen des sogen. Mandelsteins. Einzelne Mandeln können wohl nur aus Kupfer bestehen. Seltener wird es in losen Körnern oder Klumpen gefunden. Am Superior-See (Nordamerika) kommt das Kupfer, an welchem öfter Klumpen von gediegenem Silber hängen, im Mandelsteingebirge vor;

*) Als eingesprengt bezeichnet man ein Mineral, wenn es in einzelnen kleineren Teilen (bis etwa zur Größe einer Haselnuss) vom Gestein umschlossen auftritt.

Platten bis 1 m dick setzen gediegen in die Tiefe. Schöne Krystalle sind außer vom Superior-See z. B. von Cornwall, Rheinbreitbach bei Honnef, Fahlun in Schweden, Bogoslowsk am Ural bekannt. Das gediegene Silber tritt meist in Gängen im Granit, Gneiß, Thonschiefer, seltener in Lagern auf. Bekannte Fundorte sind Freiberg, Schneeberg, Marienberg und Johann-Georgenstadt im sächsischen Erzgebirge. Große und schöne Krystalle kommen namentlich von Kongsberg in Norwegen. Mit Kupfer zusammen findet sich das Silber, wie erwähnt, am Superior-See. Das Gold endlich findet sich zwar sehr verbreitet, doch nur selten in größerer Menge und zwar entweder auf seiner ursprünglichen Lagerstätte auf Gängen, Lagern oder eingesprengt, fast immer an Quarz gebunden, in verschiedenen Gebirgsarten (z. B. im Syenit, Sandstein, Thonschiefer), oder als sogen. Waschgold in den Goldseifen (d. i. aufgeschwemmtes, aus der Zerstörung des ursprünglichen goldhaltigen Gesteins hervorgegangenes Land) und im Sande vieler Flüsse. Als wichtige Fundorte sind u. a. zu nennen: Ungarn, Siebenbürgen, Beresowsk (Ural), Mexiko, Brasilien, Kalifornien, Viktorialand in Australien. Schöne, deutlich krystallisierte Goldstufen gelangen namentlich von Vöröspatak (Siebenbürgen) in unsere Sammlungen. Es ist deshalb wohl gerechtfertigt, wenn wir hier einige Sätze aus einer Schilderung dieses Vorkommens, welche wir G. vom Rath verdanken, anführen: »Der Golddistrikt von Vöröspatak gehört dem Gebiet des Karpathensandsteins an. Einen vortrefflichen Überblick über das Relief desselben erhält man auf den Höhen östlich dieses Bergortes. Das Gebirgsland hat einen plateauähnlichen Charakter; die Rücken sind breit gewölbt, die Thäler eng und tief. Der Blick reicht nicht auf ihren Grund; daher sieht man keine menschliche Wohnung. Der Gesichtskreis ist sehr mannigfaltig, indem über dem Plateaugebirge des Karpathensandsteins teils kahle gerundete Andesitkegel, teils waldbedeckte Basaltkuppen, teils gewaltige Kalkmassen sich auftürmen. Mit der Stille des Hochgebirgs kontrastiert seltsam der Lärm der Thäler von Bucsum, Abrudbanya und Vöröspatak. Hunderte von Pochwerken sind hier Tag und Nacht geschäftig, das goldführende Gestein zu zermalmen. In Vöröspatak sieht man sich von einem Halbkreis von Höhen umschlossen, welcher nur gegen West den Horizont frei lässt; dies sind die goldführenden Berge. Sie werden gegen Nord und Ost von einem Halbkreis höherer Gipfel umfasst, welche, aus Andesit bestehend, alle goldführenden Lager-

stätten vollkommen abschneiden. Einen erstaunlichen Anblick gewähren die beiden berühmten Goldberge Kirnik und Czetatye wegen ihrer bräunlichgelben Oberfläche. Das überall durchwühlte und entblößte Gestein enthält nämlich reichlich Schwefelkies FeS_2 beigemengt, dessen Verwitterungsprodukt (Eisenhydroxyd) den Bergen jene abschreckende Färbung giebt. Man unterscheidet im Gebiete von Vöröspatak drei verschiedene goldführende Gesteine: 1) Karpathensandstein, 2) Quarzporphyr, welcher jedoch richtiger als Andesit (Dacit) zu bezeichnen ist, 3) einen jüngeren Sandstein mit Bruchstücken der beiden vorigen. Der Karpathensandstein ist grob- bis feinkörnig, geschichtet und wird von zahlreichen meist vertikalen Erzklüften und -schnürchen durchsetzt. Auch die Schichtungsklüfte, ja sogar stellenweise die ganze Gesteinsmasse, sind mit Spuren von gediegenem Gold und goldführendem Schwefelkies angefüllt. Die Erzführung des Andesits beschränkt sich auf Klüfte und deren Nebengestein und geht nicht auf die ganze Gesteinsmasse über. Der jüngere Sandstein wird von zahlreichen schmalen, quarz- und schwefelkieshaltigen Klüften durchzogen. Wo diese sich unter einander oder mit den ähnlich erfüllten Schichtungsklüften scharen, werden nicht nur die Klüfte, sondern häufig auch das ganze Gestein goldführend und pochwürdig.« Aus dem durch Pochen zermalmten Gestein wird das Gold entweder durch Schlämmen oder durch Behandlung mit Quecksilber, welches die Teilchen des Edelmetalls löst, abgeschieden. Das Gold von Vöröspatak ist lichtes Gold; es enthält 29 bis 33 % Silber in isomorpher Mischung. Zuweilen steigt der Silbergehalt auch bis 40 %. Das spezifische Gewicht, welches beim reinen Golde = 19 ist, sinkt beim lichten Golde auf 12 bis 13. Das gediegene Gold enthält übrigens stets eine kleinere oder größere Menge von Silber, ganz reines Gold scheint nicht vorzukommen.

5. **Granat.** Dieses gleichfalls dem regulären System angehörige Mineral unterscheidet sich hinsichtlich seiner Krystallisation wesentlich von den soeben besprochenen gediegenen Metallen. Es zeigt weder eine irgendwie auffallende Neigung zur Bildung verzerrter oder mit unvollzähligen Flächen auftretender Formen, noch kommen dendritische Gestalten bei ihm vor. Auch war bis in die neueste Zeit Zwillingsbildung am Granat nirgend beobachtet.

Die Granatkrystalle weisen ganz vorherrschend die Flächen des Rhombendodekaeders auf, welches man deshalb auch als Granatoeder bezeichnet hat. Sehr oft sind die Kanten desselben durch die

Flächen des Ikositetraeders 2 O 2 mehr oder weniger stark abgestumpft (Fig. 41). Die Flächen von 2 O 2 sind dann in der Regel parallel den Kombinationskanten mit ∞O gestreift. Doch kommt das Ikositetraeder auch häufig selbständig, ohne die Flächen des Dodekaeders, vor. Andere Formen erscheinen weit seltener, so z. B. das Pyramidendodekaeder 3 $O \frac{3}{2}$ selbständig und in Kombination mit ∞O, die Kanten des letzteren zuschärfend, ferner in Kombinationen das Oktaeder, der Würfel und zwei Pyramidenwürfel $\infty O 2$ und $\infty O \frac{3}{2}$. Zwillingskrystalle fand man nur einmal an einem Granatvorkommen von Pitkäranta in Finnland. Dieselben gehorchen dem sonst im regulären System noch nicht beobachteten Zwillingsgesetze: Zwillingsebene eine Fläche des Pyramidenwürfels $\infty O 2$.

Sehr mannigfaltig ist die chemische Zusammensetzung und im Zusammenhange damit die Färbung der Granatkrystalle. Ihre Substanz stellt ein Silikat, d. i. kieselsaures Salz mehrerer Metalle dar, welches der allgemeinen Formel: R_3 (R'_2) $(SiO_4)_3$ entspricht, worin $R = Ca$, Mg, Fe oder Mn, $R' = Al$, Fe oder Cr ist. Demnach unterscheidet man in Bezug auf R' 1) Thonerde- (resp. Aluminium-) granat, 2) Eisengranat, 3) Chromgranat, und bei diesen wieder hinsichtlich R Kalkthonerdegranat, Magnesiathonerdegranat, Kalkeisengranat u. s. w. Indes sind die Granate meist isomorphe Mischungen von mehreren der genannten Verbindungen, wenn auch in der Regel eine derselben vorherrscht. Man unterscheidet nun eine Reihe von Varietäten, deren scharfe Abgrenzung jedoch wegen der wechselnden Zusammensetzung nicht möglich ist. Die wichtigsten derselben sind:

1) Almandin oder edler Granat. Die Krystalle sind kirsch- oder blutrot, auch bräunlichrot bis braun, durchsichtig bis durchscheinend. Der Almandin ist wesentlich ein Eisenthonerde-, auch wohl Magnesiathonerdegranat. Er findet sich ein- und aufgewachsen im Gneiß, Glimmerschiefer, Chloritschiefer, Granit und Serpentin. Im Glimmerschiefer bei Fahlun (Schweden) und im Chloritschiefer des Zillerthals und Oetzthals in Tirol kommen bis kopfgroße Dodekaeder und Ikositetraeder vor, schöne durchsichtige Exemplare auf Ceylon und in Brasilien. Der Almandin wird häufig als Schmuckstein benutzt. An ihn schließt sich der ähnlich zusammengesetzte dunkelrote Pyrop an, welcher gewöhnlich in rundlichen, nur undeutliche Krystallflächen zeigenden Körnern vorkommt. Er findet sich eingewachsen im Serpentin, wie auch lose,

namentlich in Böhmen und wird unter dem Namen »böhmischer Granat« oder »Karfunkel« vielfach als Schmuckstein verschliffen. Meist sind die Körner klein, Pyrope von etwa 3 g gehören schon zu den großen Seltenheiten.

2) Grossular, farblos, gelb, grünlich-weiß, spargelgrün bis grasgrün, ist vorherrschend ein Kalkthonerdegranat. Besonders interessant sind die glänzenden, vollkommen wasserhellen Krystalle von Jordansmühl in Schlesien. Sie zeigen die Form des Dodekaeders, dessen Flächen nach der kürzeren Rhombendiagonale gestreift sind. Der eigentliche Grossular von stachelbeergrüner Farbe (Ribes grossularia, Stachelbeere) kommt in Dodekaedern, Ikositetraedern $2\,O\,2$ und Kombinationen beider am Wiluifluss (Sibirien), im Fassathal und bei Rezbanya (Ungarn) vor. Zu dem Grossular rechnet man noch den aus Kalk- und Eisenthonerdegranat bestehenden Hessonit, welcher in honiggelben bis hyacinthroten Krystallen namentlich an der Mussaalp im Alathal in Piemont gefunden wird. Seine durchsichtigen Krystalle zeigen die Kombination $\infty O \cdot 2\,O\,2$ (die Flächen letzterer Form stark gestreift), seltener tritt das Pyramidendodekaeder $3\,O\,\frac{3}{2}$ hinzu. Mit dem Hessonit zusammen treten an dem genannten Fundorte schöne durchsichtige hellgrüne Krystalle von Diopsid auf; beide sitzen auf dichtem hellrotem Granat, welcher ein Lager im Serpentin bildet.

3) Der Melanit, welcher in schwarzen undurchsichtigen Krystallen im vulkanischen Tuff von Frascati bei Rom, in Auswürflingen des Vesuv und im Tuff von Oberbergen am Kaiserstuhl vorkommt, ist ein Kalkeisengranat. Eine prächtige Stufe von Granat, auch wohl als Melanit zu bezeichnen, von Achmatowsk (Ural) stellt Fig. 63 etwas vergrößert dar. Die herrlich glänzenden Krystalle zeigen vorherrschend das Rhombendodekaeder, dessen Flächen fein parquettiert sind. Die Kanten desselben sind durch die Flächen von $2\,O\,2$ abgestumpft, welche letzteren die so häufige Streifung nach den Kombinationskanten mit ∞O tragen.

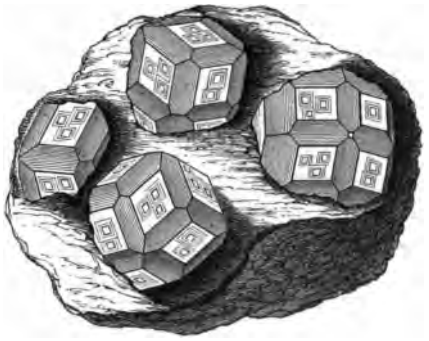


Fig. 63.

Endlich beobachtet man an den vierkantigen Ecken zuweilen (s. den Krystall rechts) eine Abstumpfung in der Form eines kleinen Quadrates, welches dem Würfel angehört.

4) Als gemeinen Granat bezeichnet man die grünen, gelben oder braunen, schwach durchscheinenden bis undurchsichtigen Krystalle und derben Massen, welche ihrer chemischen Zusammensetzung nach eine Mischung der vorher genannten Varietäten darstellen. Die Krystalle finden sich wie beim Almandin häufig in Gesteinen ein- und aufgewachsen (Sachsen, Böhmen, Tirol, Schweden u. s. w.).

5) Ein seltenes Mineral ist der dunkelsmaragdgrüne Uwarowit, ein Kalkchromgranat. Er findet sich in hübschen, wenn auch verhältnismäßig kleinen Dodekaedern aufgewachsen auf Chromeisenstein bei Bisersk im Ural.

XI.

Die pentagondodekaedrische (pyritoedrische) Hemiedrie. Schwefelkies, Alaun.

Wir haben bisher nur solche Beispiele einer regulären Krystallisation kennen gelernt, bei welchen entweder die zu irgend einer auftretenden Form gehörigen Flächen vollzählig ausgebildet waren, wo also die betreffenden Formen holoedrisch, d. h. vollflächig erschienen, oder wo, falls eine Unvollzähligkeit der zusammengehörigen Flächen beobachtet wurde, diese Art der Ausbildung doch nur einzelnen Krystallen einer Substanz eigentümlich war, nicht aber als eine allgemeine gesetzmäßige Erscheinung aufgefasst werden konnte. Man kennt nun aber auch zahlreiche im regulären System krystallisierende Substanzen, an deren Krystallen gewisse Formen nur je mit der Hälfte ihrer Flächen aufzutreten pflegen, oder besser gesagt, wo diese Formen in je zwei von einander unabhängige neue Formen zerfallen, von welchen jede von der Hälfte der Flächen gebildet wird, die der holoedrischen Form zukommen. Diese neuen Formen bezeichnet man deshalb als hälftflächige oder hemiedrische. Doch teilen sich die beiden hemiedrischen Formen nicht etwa beliebig in die Flächen der betreffenden holoedrischen, sondern die letztere zerfällt nach einem ganz bestimmten Gesetze, und die beiden daraus hervorgehenden hemiedrischen Formen unterscheiden sich nur durch die gegenseitige Lage ihrer Flächen, nicht aber durch ihre Gestalt. Es giebt drei Gesetze, nach welchen im regulären System eine Bildung von hemiedrischen Formen stattfinden kann. Wir werden dieselben der Reihe nach besprechen und beginnen mit der pentagondodekaedrischen oder pyritoedrischen Hemiedrie.

Um von einer holoedrischen zu einer hemiedrischen Form zu gelangen, denkt man sich, es falle die eine Hälfte der Flächen, dem der betreffenden Hemiedrie zu Grunde liegenden Gesetze folgend, aus, während sich die andere Hälfte stärker ausdehnt und dadurch die entstandenen Lücken wieder ausfüllt. Bei der pentagondodekaedrischen Hemiedrie fallen nun diejenigen Flächen aus, welche in den abwechselnden, von den sich schneidenden sechs gewöhnlichen Symmetrieebenen (vergl. S. 79) gebildeten Räumen liegen. Solcher Räume giebt es 24, zwölf behalten demnach ihre Flächen bei. Indem wir dieses Gesetz auf die verschiedenen Gestalten des regulären Systems anwenden, gehen wir am zweckmäßigsten von den flächenreichsten, den Hexakisoktaedern, aus. Fig. 64 stellt eine solche Form dar, woran die genannten 24 Räume resp. die darin befindlichen Flächen, soweit sie auf der Vorderseite liegen, abwechselnd weiß gelassen und schraffiert sind. Wie man sieht, wechseln immer je zwei Flächen mit einander ab, welche an den in den Haupt-Symmetrieebenen verlaufenden Kanten *b* liegen. Dehnen sich nun die weiß gelassenen Flächen stärker aus, während die schraffierten verschwinden, so entsteht die Form Fig. 65 *a*; dehnen sich hingegen die letzteren aus, während die weißen verschwinden, so entsteht die Form Fig. 65 *b*. Beide Formen, welche man als Dyakisdodekaeder (Zweimalzwölfflächner) bezeichnet, unterscheiden sich nur durch ihre Stellung; die eine kann durch eine Drehung um 90° (um eine Achse) mit der anderen zur Deckung gebracht werden. Sie werden umschlossen von 24 Trapezoiden, welche zwei gleiche Seiten besitzen. Die 48 Kanten zerfallen in zwölf kürzere, zwölf längere und 24 mittlere, die 26 Ecken in sechs vierkantige mit je zwei gleichen Kanten, zwölf vierkantige mit nur zwei gleichen Kanten und acht drei- und gleichkantige. Die Achsen verbinden je zwei gegenüberliegende Ecken der ersten Art. Das krystallographische Zeichen für die Dyakisdodekaeder ist $+\frac{mOn}{2}$ und $-\frac{mOn}{2}$, kurz $\pm\frac{mOn}{2}$, wobei man die beiden aus demselben Hexakisoktaeder

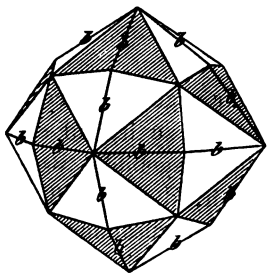


Fig. 64.

hervorgegangenen Hälftflächner als positives und negatives Dyakisdodekaeder unterscheidet. Welches von den beiden man als positives, welches als negatives bezeichnet, ist der freien Wahl überlassen; ist dieselbe aber für einen Krystall einmal getroffen, so muss man daran festhalten, da man damit zugleich das Vorzeichen aller übrigen etwa an dem Krystalle auftretenden hemiedrischen Formen bestimmt hat. Die am häufigsten vorkommenden Dyakisdodekaeder sind: $\frac{3O\frac{3}{2}}{2}$, $\frac{4O2}{2}$ und $\frac{5O\frac{5}{3}}{2}$. Fig. 65 (*a*, *b*) stellt $\pm\frac{3O\frac{3}{2}}{2}$ dar.

Die beiden aus einem Hexakisoktaeder entstandenen Dyakisdodekaeder sind vollkommen von einander unabhängige Formen. Dies hindert natürlich nicht, dass sie an demselben Krystall in Kombination auftreten können. Dasselbe gilt stets von zwei aus

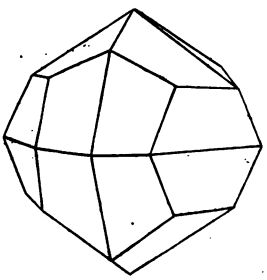


Fig. 65a.

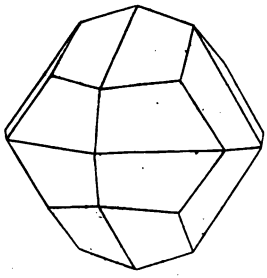


Fig. 65b.

einer und derselben holoedrischen Form hervorgegangenen Hälftflächnern, von welchen der eine, wie es hier der Fall ist, durch eine Drehung mit dem anderen in genau parallele Stellung gebracht werden kann.

Gehen wir nun zu den Tetrakishexaedern über und sehen zu, welche neue Formen durch die Hemiedrie aus ihnen entstehen! Fig. 66 stellt einen Pyramidenwürfel dar, an welchem ganz in derselben Weise wie in Fig. 64 die Hälfte der Flächen weiß gelassen, die andere Hälfte hingegen schraffiert ist. Dehnen sich jetzt die weißgelassenen Flächen stärker aus, während die schraffierten verschwinden, so entsteht die Gestalt Fig. 67 *a*; findet das Umgekehrte statt, so geht die Form Fig. 67 *b* hervor. Man bezeichnet dieselben als Pentagondodekaeder (Fünfeckzwölfflächner) und nennt nach ihnen auch die in Rede stehende Hemiedrie die pentagondodekae-

drische. Die Pentagondodekaeder werden umschlossen von zwölf symmetrisch gestalteten Fünfecken, welche vier gleiche Seiten und zwei Paare gleicher Winkel besitzen. Die Kanten sind zweierlei: sechs meist längere, welche den Kanten des Würfels parallel gehen, und 24 meist kürzere, welche von den gleichen Seiten der Fünfecke gebildet werden. Von den 20 dreiflächigen Ecken sind acht gleichkantig und zwölf ungleichkantig. Die Achsen verbinden die Mittel-

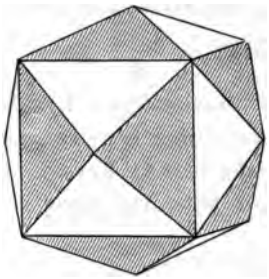


Fig. 66.

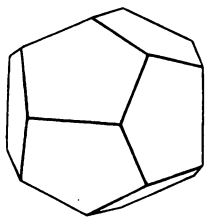


Fig. 67 a.

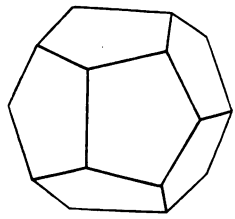


Fig. 67 b.

punkte je zweier Kanten der erstgenannten Art. Das krystallographische Zeichen für die Pentagondodekaeder ist $\pm\frac{\infty O n}{2}$. Am häufigsten kommt $\frac{\infty O 2}{2}$ vor, welche Form wegen ihres gewöhnlichen Auftretens am Pyrit (Schwefelkies) auch Pyritoeder genannt wird. Fig. 67 (*a*, *b*) giebt dieselbe in den beiden um 90° gegen einander gedrehten Stellungen wieder.

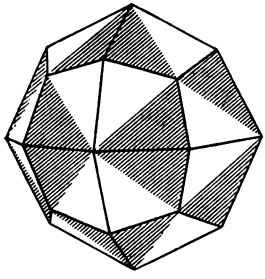


Fig. 68.

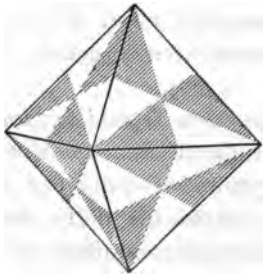


Fig. 69.

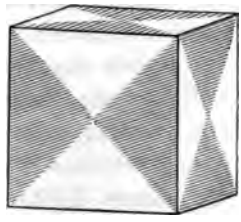


Fig. 70.

Ganz anders wie die Hexakisoktaeder und die Pyramidenwürfel verhalten sich nun dieser Hemiedrie gegenüber die anderen Formen des regulären Systems. Bei ihnen liegt nämlich jede einzelne Fläche

gleichzeitig in zwei (auch wohl in mehreren) benachbarten, von den gewöhnlichen Symmetrieebenen gebildeten Räumen. Während also unter Einwirkung der Hemiedrie die eine Hälfte resp. der eine Teil der Fläche verschwindet, dehnt sich die andere Hälfte resp. der benachbarte Teil derselben stärker aus. Dadurch werden gleichsam die entstandenen Lücken wieder ausgefüllt und die betreffende Form bleibt äußerlich gänzlich unverändert. Beistehende Figuren 68 bis 70 machen dies für Ikositetraeder, Oktaeder und Würfel klar. Die schraffierten Teile der Flächen fallen zwar infolge der Hemiedrie aus, werden aber durch die stärkere Ausdehnung der weißgelassenen wieder ersetzt, und umgekehrt.

Was die Symmetrieverhältnisse der pentagondodekaedrisch-hemiedrischen Formen angeht, so ist zu bemerken, dass zwar die Haupt-Symmetrieebenen (parallel den Achsenebenen oder den Würfelflächen) ihre Bedeutung als solche behalten, dass hingegen die gewöhnlichen Symmetrieebenen (parallel den Flächen von ∞O) diese Bedeutung verloren haben. Die betreffenden Formen lassen sich also nach den Haupt-Symmetrieebenen noch so teilen, dass sich die eine Hälfte zur anderen verhält wie Gegenstand zu Spiegelbild, nicht aber mehr nach den gewöhnlichen Symmetrieebenen. Der Grund hiervon liegt darin, dass die gewöhnlichen Symmetrieebenen es sind, welche die Räume bilden, deren Flächen infolge der in Rede stehenden Hemiedrie abwechselnd ausfallen. Wenn nämlich je zwei zu derselben Form gehörige Flächen, welche zu beiden Seiten einer solchen Symmetrieebene liegen, von der Hemiedrie betroffen werden und es fällt die eine Fläche aus, während die andere bleibt, so kann die betreffende Symmetrieebene für die neu entstehende Form offenbar keine Symmetrieebene mehr bleiben. Denn die Flächen dieser Form sind nicht mehr gleichartig zu beiden Seiten jener Ebene verteilt. Nun könnte man allerdings glauben, dass für diejenigen Formen, welche (wie z. B. der Würfel) bei der besprochenen Hemiedrie äußerlich unverändert bleiben, auch die Symmetrieverhältnisse keine Veränderung erleiden. Indes müssen auch solche Gestalten in Wirklichkeit als hemiedrische betrachtet werden; sie sind gewissermaßen Grenzformen der Dyakisdodekaeder oder der Pentagondodekaeder. Wird z. B. bei $\frac{\infty O n}{2}$ der Koeffizient $n = \infty$, so geht das Pentagondodekaeder in den Würfel $\infty O \infty$ über. Letzterer unterscheidet sich zwar äußerlich nicht von dem bei einem

holoedrischen Krystall auftretenden, in der That ist er aber doch wesentlich davon verschieden. Seine Flächen zeigen in gewissen physikalischen Erscheinungen, wie z. B. in den Ätzfiguren, in der Regel deutlich die Symmetrieverhältnisse der pyritoedrischen Hemiedrie. Die Ätzfiguren sind symmetrisch nach den Mittellinien, nicht aber mehr nach den Diagonalen der Würfelfläche. Zeigen die Flächen eine Streifung, so lässt auch diese oft bestimmt den hemiedrischen Charakter der scheinbar holoedrischen Form erkennen. Die Würfel des Schwefelkieses sind meist, wie Fig. 2 zeigt, nach den abwechselnden Kanten, entsprechend den längeren Kanten des Pyritoeders $\frac{\infty O 2}{2}$, gestreift. Eine solche Streifung würden die Würfelflächen eines holoedrischen Körpers nicht zeigen können, vielmehr müsste hier, falls eine Streifung nach den Kanten vorhanden wäre, dieselbe auf jeder Fläche nach beiden Kantenrichtungen verlaufen, also eine quadratische oder gekreuzte sein, wie es der zweifachen Symmetrie der holoedrischen Fläche entspräche.

Kombinationen der aus der pentagondodekaedrischen Hemiedrie hervorgehenden Formen werden wir unten bei dem wichtigsten Repräsentanten dieser Hemiedrie, dem Schwefelkies, kennen lernen. Außer ihm besprechen wir als weitere Beispiele die eine isomorphe Gruppe bildenden Alaune.

1. **Schwefelkies** (Eisenkies, Pyrit) ist eines der häufigsten Mineralien. Mit Recht bezeichneten ihn die alten Mineralogen als »Hans in allen Gassen«, denn er findet sich nicht nur sehr verbreitet auf Gängen als Begleiter von Erzen und anderen Mineralien, sondern er kommt auch bald in einzelnen eingewachsenen Krystallen, bald in derben lagerartigen Massen, bald eingesprengt und fein verteilt in den verschiedensten Gebirgsarten vor. Im Thon und Mergel bildet er häufig Knollen, auch einzelne Krystalle und Gruppen. Oft erscheint er mit pflanzlichen Überresten verbunden in den Stein- und Braunkohlen. Hier hat er sich ohne Zweifel infolge einer Reduktion aus löslichen schwefelsauren Salzen des Eisens gebildet, denn bei Gegenwart von sich zersetzenden organischen Stoffen wird z. B. dem schwefelsauren Eisenoxydul (Eisenvitriol $FeSO_4$) der Sauerstoff entzogen, und es entsteht Schwefelkies. Hierauf ist auch die Bildung von Schwefelkies in Sümpfen zurückzuführen. Künstlich hat man kleine glänzende Krystalle des-

selben dargestellt, indem man Eisenoxyd und Schwefel unter Zusatz von Chlorammonium (Salmiak NH_4Cl) recht langsam glühte.

Die speisgelben, stark metallglänzenden Krystalle zeigen am häufigsten den Würfel, das Oktaeder und das Pyritoeder $\frac{\infty O 2}{2}$. Diese drei kommen, ebenso wie die Dyakisdodekaeder $\frac{3 O \frac{3}{2}}{2}$ und $\frac{4 O 2}{2}$, sowohl selbständig als auch in mannigfaltigen Kombinationen vor. Überhaupt ist die Zahl der einzelnen Formen und der Kombinationen beim Schwefelkies sehr groß. Man hat daran gegen 25 verschiedene Pentagondodekaeder, 28 Dyakisdodekaeder, 9 Ikositetraeder und 4 Triakisoktaeder beobachtet. Die beistehenden Figuren zeigen ein paar der gewöhnlichsten Kombinationen, nämlich Fig. 71 Würfel und Pyritoeder $\frac{\infty O 2}{2}$ (letzteres die Kanten des ersteren schief abstumpfend), Fig. 72 Oktaeder und Pyritoeder (die Kombinationskanten bilden mit einer Oktaederkante einen rechten Winkel), Fig. 73 Würfel und Dyakisdodekaeder $\frac{3 O \frac{3}{2}}{2}$, Fig. 74 endlich die drei-

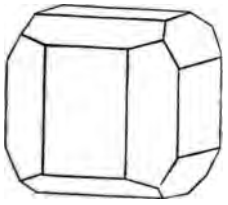


Fig. 71.

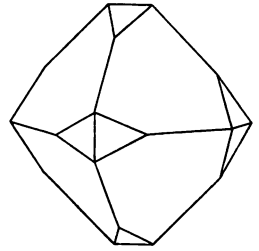


Fig. 72.

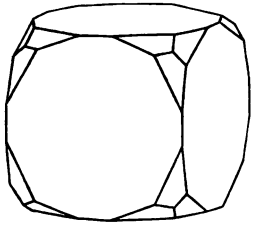


Fig. 73.

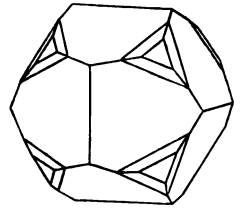


Fig. 74.

zählige Kombination $\frac{\infty O 2}{2} \cdot \frac{3 O \frac{3}{2}}{2} \cdot O$ (die beiden ersten Formen besitzen gleiche Stellung). Obgleich die verschiedenen positiven und negativen Dyakis- und Pentagondodekaeder sich hinsichtlich ihres Auftretens an den Krystallen des Pyrits nicht ausschließen, sondern der Theorie nach sämtlich an einem und demselben Krystalle vorkommen könnten, so sind es doch gewöhnlich nur hemiedrische Formen einer Stellung, welche man in Kombination am Schwefelkies beobachtet. Nur sehr selten treten Formen der anderen Stellung hinzu, so dass der Krystall zugleich positive und negative hemiedrische Flächen aufweist.

Besonders schöne und oft große Krystalle von Schwefelkies finden sich z. B. auf Elba zusammen mit Eisenglanz, bei Traversella mit Magneteisen, ferner bei Waldenstein in Kärnthen und Freiberg in Sachsen. Am letzteren Orte hat man auch kleine, nur vom Rhombendodekaeder gebildete Krystalle gefunden — beim Schwefelkies eine Seltenheit.

Sehr interessant ist bei unserem Mineral die Streifung der verschiedenen Flächen. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, dass die Würfelflächen meist nach den abwechselnden Kanten, entsprechend den längeren oder Grundkanten des Pyritoeders oder auch den Kombinationskanten des Würfels mit dem Pyritoeder, gestreift seien, und dass sich schon hierdurch die hemiedrische Natur des Pyrits verrate. Auch die Flächen des Pyritoeders und des Oktaeders tragen oft eine sehr deutliche Streifung, jedoch kann dieselbe an verschiedenen Krystallen verschiedenartig sein.

Die Pyritoederflächen sind in der Regel parallel den Grundkanten oder den Kombinationskanten mit dem Würfel gestreift, doch kommt es auch, namentlich bei den Krystallen von Elba, vor, dass die Streifung der dazu senkrechten Richtung folgt. Im letzteren Falle gehen die Streifen den Kombinationskanten des Pyritoeders mit einem Dyakisdodekaeder gleicher Stellung parallel, bei welchem $n = 2$ ist, etwa mit $\frac{4 O 2}{2}$. Auf den Oktaederflächen erscheint häufig eine dreifache Streifung, welche verschieden gerichtet sein kann. Die Streifen stehen entweder auf einer Oktaederkante annähernd rechtwinklig, in welchem Falle sie meist den Kombinationskanten des Oktaeders mit dem Dyakisdodekaeder $\frac{4 O 2}{2}$ parallel gehen, oder sie stehen

genau rechtwinklig auf den Oktaederkanten, entsprechend den Kombinationskanten von $\frac{\infty O 2}{2}$ und O, oder sie haben endlich, und dies ist der seltenere Fall, die Richtung der Oktaederkanten selbst. Hier aber entsprechen sie den Kombinationskanten des Oktaeders mit einer Form, welche durch die Hemiedrie äußerlich unverändert bleibt. Fig. 75 stellt einen Krystall (wahrscheinlich von Elba) dar, welcher auf den Pyritoederflächen die zu den Grundkanten senkrechte Streifung aufweist, während sich auf den Oktaederflächen sehr flache dreiseitig-gleichseitige Pyramiden erheben, deren Umriss gegen die Oktaederfläche umgekehrt liegt und deren Seiten parallel den Oktaederkanten dicht gestreift sind. Diese Pyramiden deuten ein Ikositetraeder an; die Streifen gehen den Kombinationskanten des Oktaeders mit einem solchen parallel.

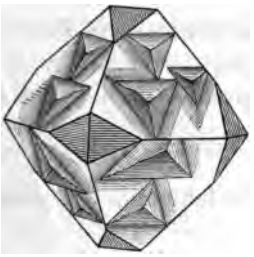


Fig. 75.

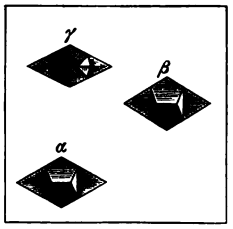


Fig. 76.

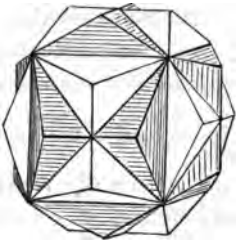


Fig. 77.

Durch Behandlung der Pyritkrystalle mit erwärmter Salpetersäure oder einer Mischung derselben mit Salzsäure kann man auf den Flächen derselben Ätzfiguren hervorrufen, welche den hemiedrischen Charakter auch auf den Würfel- und Oktaederflächen anzeigen. Fig. 76 zeigt die Ätzfiguren einer Würfelfläche. Dieselben sind nach den Mittellinien, nicht aber nach den Diagonalen des Quadrates symmetrisch, in der Richtung der auf der Würfelfläche vorhandenen Streifung gestreckt und entsprechen entweder einem Pentagondodekaeder (s. α und β) oder einem Dyakisdodekaeder (γ).

Da die gewöhnlichen Symmetrieebenen des regulären Systems für die der pyritoedrischen Hemiedrie unterliegenden Krystalle keine Symmetrieebenen mehr sind, so kann hier nach ihnen, resp. nach den ihnen parallelen Flächen von ∞O, Zwillingsbildung stattfinden. Dies ist nun nicht selten beim Pyrit der Fall, wobei sich in der Regel zwei Pyritoeder in Zwillingsstellung vollständig durchwachsen

(Fig. 77). Solche Krystalle bezeichnet man als Zwillinge des eisernen Kreuzes. Besonders schön kommen sie bei Vlotho (bei Minden), auf Elba und bei Traversella vor.

Die Krystalle des Schwefelkieses zeigen keine deutliche Spaltbarkeit. Ihre Härte ist 6 bis 6,5, also ziemlich groß; der Pyrit giebt mit dem Stahl starke Funken, daher sein Name (πυρίτης, Feuerstein). Er wurde früher als Büchsenstein (Karabinerstein) benutzt, bis der eigentliche Feuerstein (Flint) und endlich die Zündkapseln an seine Stelle traten. An feuchter Luft verwittert er mehr oder weniger schnell, indem er sich in Eisenvitriol und freie Schwefelsäure verwandelt. Die Krystalle sind oft durch die beginnende Verwitterung angelaufen oder auch mit einer braunen Rinde von Eisenhydroxyd überzogen. Letzteres ist durch die Oxydation und Zersetzung des anfänglich gebildeten Eisenvitriols beim Hinzutritt anderer Stoffe entstanden.

Mit Schwefelkies isomorph sind die beiden Mineralien Kobaltglanz ($CoS_2 + CoAs_2$) und Speiskobalt ($CoAs_2$). Namentlich die Krystalle des ersteren zeigen sehr deutlich die pyritoedrische Hemiedrie, so in den häufigen Kombinationen: $O \cdot \frac{\infty O 2}{2}$ und $\infty O \infty \cdot \frac{\infty O 2}{2}$. Auch weisen die Würfelflächen die nämliche Streifung auf, wie beim Schwefelkies.

2. Die **Alaune** bilden eine ziemlich zahlreiche isomorphe Gruppe. Ihre Zusammensetzung entspricht der allgemeinen Formel:

$$R_2SO_4 + R'_2(SO_4)_3 + 24\ H_2O \text{ (Krystallwasser)},$$

worin $R = K$, Na oder Am (Ammonium $= NH_4$), R' hingegen $= Al$, Fe oder Cr sein kann. Dementsprechend giebt es z. B.

Thonerde-Kali-Alaun	$K_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 24\ H_2O$
Thonerde-Ammoniak-Alaun	$Am_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 24\ H_2O$
Eisen-Kali-Alaun	$K_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + 24\ H_2O$
Chrom-Kali-Alaun	$K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 24\ H_2O$.

Der Thonerde-Kali-Alaun, gewöhnlich kurzweg Alaun genannt, ist das wichtigste Glied der Gruppe, weshalb wir ihn zur speziellen Besprechung auswählen.

Der Alaun krystallisiert aus wässriger Lösung vorwiegend im Oktaeder, doch sind die Kanten und Ecken desselben nicht selten durch die Flächen des Dodekaeders und Würfels abgestumpft. Hemiedrische Flächen nimmt man indes an diesen Krystallen nicht

wahr. Löst man aber das Salz in wässriger starker Salzsäure auf und lässt die Lösung krystallisieren, so erhält man Oktaeder, an deren Ecken je zwei Flächen des Pyritoeders $\frac{\infty O 2}{2}$ auftreten (Fig. 72). Es ist dies ein schönes Beispiel für die Erscheinung, dass die an einem krystallisierenden Körper auftretenden Flächen oft wesentlich beeinflusst werden durch fremde Stoffe (hier durch die Salzsäure), welche bei der Krystallisation zugegen sind. Setzt man zu einer wässrigen Alaunlösung kohlensaures Kali, so erhält man beim Verdunsten Krystalle, welche anstatt des Oktaeders vorherrschend den Würfel zeigen (kubischer Alaun).

Durch das Auftreten der Flächen $\frac{\infty O 2}{2}$ an den aus salzsaurer Lösung sich ausscheidenden Krystallen ist natürlich die Zugehörigkeit des Alauns zur pyritoedrischen Hemiedrie erwiesen. Man sollte demnach, entsprechend dem Verhalten des Schwefelkieses, erwarten, dass sich diese Hemiedrie auch noch in anderer Weise, etwa durch eine Streifung oder die Gestalt der Ätzfiguren auf den scheinbar holoedrischen Flächen verraten werde. Beides ist indes nicht der Fall. Eine Streifung tritt überhaupt selten auf den Flächen des Alauns auf; ist eine solche auf O vorhanden, so geht sie den Kanten dieser Form parallel, deutet also keine Hemiedrie an. Nach ganz kurzem Ätzen der Oktaederflächen mit Wasser erhält man auf denselben drei- und gleichseitige Ätzfiguren, welche gegen die Oktaederflächen selbst umgekehrt liegen; auf den Würfelflächen erscheinen quadratische Vertiefungen, deren Seiten den Kombinationskanten $\infty O \infty \mid O$ parallel gehen. Die ersteren werden von Flächen eines Triakisoktaeders, die letzteren von solchen eines Ikositetraeders gebildet. Da beide genannte Formen durch die pyritoedrische Hemiedrie keine Veränderung erleiden, so können auch die Ätzfiguren diese Hemiedrie nicht zur Erscheinung bringen. Selbst bei sorgfältigster mikroskopischer Betrachtung nimmt man an den beschriebenen Ätzfiguren keine anderen, untergeordneten Flächen wahr, welche einem Dyakis- oder Pentagondodekaeder entsprächen. Dennoch müssen hemiedrische Flächen, wenn auch in noch so geringer Ausdehnung, an denselben vorkommen, wie folgende interessante Beobachtung beweist.

Lässt man von einer einige Sekunden mit Wasser geätzten Oktaederfläche eines Alaunkrystalles das Licht einer Kerzenflamme

reflektieren, während man das Auge nahe an die Fläche hält, so sieht man darauf einen sternförmigen Lichtschein (Lichtfigur, Asterie), welcher durch die Reflexion der Strahlen an den Flächen der zahlreichen parallelen Ätzfiguren hervorgebracht wird. Fig. 78 stellt einen verhältnismäßig einfachen Fall dar. Man sieht daselbst sechs Strahlen, von welchen drei längere nach den Ecken des Dreiecks verlaufen, die drei kürzeren hingegen parallel den Seiten desselben gerichtet sind. Die ganze Lichtfigur wird von den Mittellinien des Dreiecks, welche drei gewöhnlichen Symmetrieebenen oder drei Flächen von ∞O entsprechen, in zwei nicht symmetrische Teile geteilt. Diese Unsymmetrie beweist aber, dass der Alaun nicht holoedrisch krystallisiert, da in diesem Falle die Lichtfigur nach den Mittellinien symmetrisch sein müsste. Die drei kürzeren Strahlen, welche der Asterie den unsymmetrischen Charakter verleihen, werden ohne Zweifel durch kleine, an den Ätzfiguren vorhandene hemiedrische Flächen hervorgebracht, wenn man dieselben auch mit Hilfe des Mikroskops nicht erkennen kann.

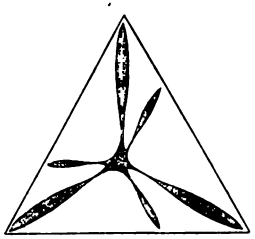


Fig. 78.

XII.

Die tetraedrische Hemiedrie. Fahlerz, Zinkblende, Boracit, Diamant.

Bei der pyritoedrischen Hemiedrie fallen diejenigen Flächen einer Form aus, welche in den abwechselnden von den sechs gewöhnlichen Symmetrieebenen gebildeten Räumen liegen. Bei der zweiten, jetzt zu besprechenden Art der hälftflächigen Ausbildung fallen hingegen diejenigen Flächen aus, welche in den abwechselnden von den drei Haupt-Symmetrieebenen gebildeten Räumen, also in den abwechselnden Oktanten, liegen. Während bei der pyritoedrischen Hemiedrie nur die Hexakisoktaeder und Pyramidenwürfel äußerlich eine Veränderung erlitten, sind es hier außer den ersteren noch die Ikositetraeder und Pyramidenoktaeder, sowie das Oktaeder, welche sich verändern, während nur die Pyramidenwürfel, das Rhombendodekaeder und der Würfel äußerlich unverändert bleiben. Wir beginnen wieder mit den aus den Hexakisoktaedern hervorgehenden hemiedrischen Gestalten, mit den Hexakistetraedern (Sechsmal-Vierflächnern). Fig. 79 stellt ein Hexakisoktaeder dar, bei welchem die in den abwechselnden Oktanten liegenden sechs Flächen schraffiert oder weißgelassen sind. Verschwinden die schraffierten Flächen, während die weißen sich stärker ausdehnen, so entsteht die Form Fig. 80a, im umgekehrten Falle hingegen die Form Fig. 80b. Jede derselben besteht also aus vier Gruppen von je sechs Flächen. Die Kanten, welche dadurch entstehen, dass sich die Flächen verschiedener Oktanten schneiden, sind in den Figuren etwas stärker gezeichnet. Dadurch tritt

die allgemeine Ähnlichkeit dieser Formen mit einem einfachen Tetraeder (s. unten Fig. 86a und b) deutlicher hervor, auf welche auch der Name Hexakistetraeder hindeutet. Dieselben werden umschlossen von 24 ungleichseitigen Dreiecken. Ihre 36 Kanten sind zu je 12 gleich lang. Von den 14 Ecken sind sechs vierflächig, vier stumpfere und vier spitzere sechsflächig. Die Achsen verbinden je zwei gegenüberliegende vierflächige Ecken. Das Zeichen der

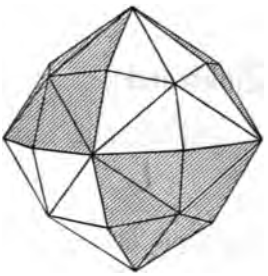


Fig. 79.

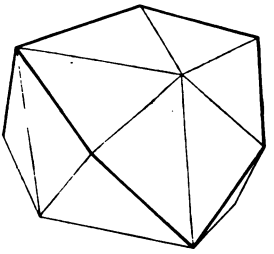


Fig. 80a.

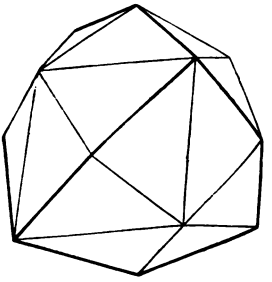


Fig. 80b.

Hexakistetraeder ist $\pm \frac{mOn}{2}$; dasselbe stimmt mit dem Symbol für die Dyakisdodekaeder überein, drückt also nur aus, dass man es mit dem Hälftflächner eines Hexakisoktaeders zu thun hat, ohne die Art der Hemiedrie genauer zu bezeichnen. Letztere muss deshalb gegebenen Falles ausdrücklich angegeben werden. Hinsichtlich des Vorzeichens der tetraedrisch-hemiedrischen Formen gilt dasselbe, was (S. 113) für die pyritoedrisch-hemiedrischen Gestalten bemerkt wurde. Auch hier unterscheidet sich die positive Form von der gleichnamigen negativen nur durch die Stellung. Beide sind vollkommen von einander unabhängig, können jedoch an demselben Krystall kombiniert auftreten. Am häufigsten beobachtet man die Hexakistetraeder $\frac{3O\frac{3}{2}}{2}$ und $\frac{5O\frac{5}{3}}{2}$. Fig. 80 stellt $\pm \frac{3O\frac{3}{2}}{2}$ dar.

Es sei hier darauf aufmerksam gemacht, dass sich die tetraedrisch-hemiedrischen Formen auch dadurch von den pyritoedrischen unterscheiden, dass bei ersteren die zu jeder einzelnen Fläche gehörige parallele Gegenfläche infolge der Hemiedrie ausgefallen ist, während bei den letzteren noch zu jeder Fläche die Gegenfläche vorhanden ist. Die Hexakistetraeder werden z. B. von 24 Flächen umschlossen, wovon keine einer anderen parallel ist, während die 24 Flächen

der Dyakisdodekaeder paarweise parallel sind. Wegen dieses durchgreifenden Unterschiedes bezeichnet man die tetraedrische Hemiedrie auch als geneigtflächige, die pyritoedrische als parallelflächige.

Die Ikositetraeder gehen unter dem Einfluss der tetraedrischen Hemiedrie in die Triakistetraeder (Dreimalvierflächner) über, welche man auch als Pyramidentetraeder bezeichnet (s. Fig. 81

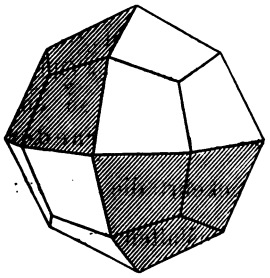


Fig. 81.

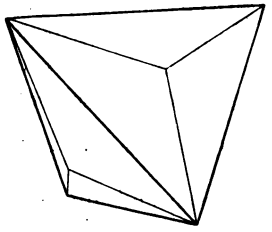


Fig. 82a.

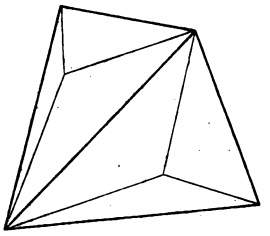


Fig. 82b.

und 82). Sie werden umschlossen von zwölf gleichschenkligen Dreiecken, welche sich in sechs längeren und zwölf kürzeren Kanten treffen, von denen die ersteren wie die Kanten des einfachen Tetraeders liegen und in den Figuren stärker gezeichnet sind. Von den acht Ecken sind vier sechs- und vier dreikantig. Die Achsen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender längerer Kanten. Das Zeichen für diese Formen ist $\pm \frac{m\,O\,m}{2}$. Am häufigsten kommen vor $\frac{2\,O\,2}{2}$ und $\frac{3\,O\,3}{2}$. Fig. 82 stellt $\pm \frac{2\,O\,2}{2}$ dar.

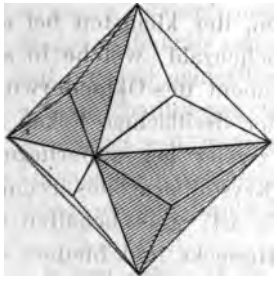


Fig. 83.

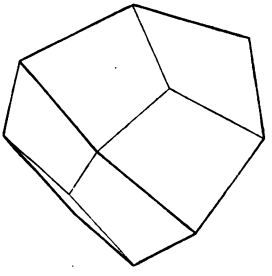


Fig. 84a.

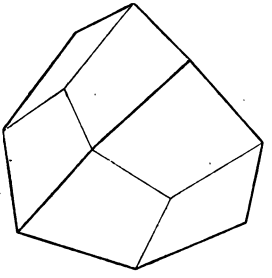


Fig. 84b.

Die Pyramidenoktaeder, demselben Gesetz der Hemiedrie unterworfen, liefern zwei sogenannte Deltoiddodekaeder (s. Fig. 83

u. 84). Dieselben werden umschlossen von zwölf Deltoiden, welche sich in zwölf längeren und zwölf kürzeren Kanten treffen. Die Ecken sind dreierlei: sechs vierflächige, vier spitzere und vier stumpfere dreiflächige. Jede Achse verbindet zwei gegenüberliegende vierflächige Ecken. Das Zeichen ist $\pm \frac{mO}{2}$. Fig. 84 stellt $\pm \frac{\frac{3}{2}O}{2}$ dar, welche Form zuweilen, wenn auch untergeordnet, vorkommt.

Verschwinden die in Fig. 85 schraffierten Flächen des Oktaeders, während sich die weißgelassenen stärker ausdehnen, so entsteht ein Tetraeder (Fig. 86*a*) welches wir als Haupttetraeder mit $+\frac{O}{2}$ bezeichnen wollen. Dehnen sich umgekehrt die schraffierten Flächen stärker aus, während die übrigen ausfallen, so geht das Gegentetraeder $-\frac{O}{2}$ (Fig. 86*b*) hervor. Ein Tetraeder wird

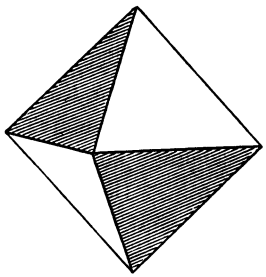


Fig. 85.

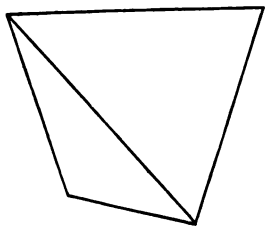


Fig. 86a.

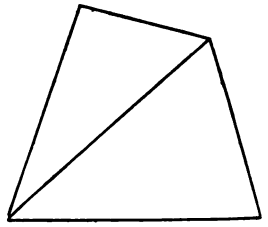


Fig. 86b.

begrenzt von vier gleichseitigen Dreiecken, der kleinsten bei einer geschlossenen Krystallform möglichen Flächenzahl, welche in sechs gleichen Kanten von 70° 32′ (dem Supplement des Oktaederwinkels 109° 28′) zusammentreffen. Es besitzt vier dreiflächige Ecken. Die Achsen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Kanten. Das Tetraeder ist die einzige Krystallform des regulären Systems, welche keiner Verzerrung fähig ist; stets behalten seine Flächen die Gestalt eines gleichseitigen Dreiecks und bleiben unter sich gleich groß.

Dass die Pyramidenwürfel, das Rhombendodekaeder und der Würfel unter dem Einfluss der tetraedrischen Hemiedrie äußerlich keine Veränderung erleiden, wurde schon oben bemerkt. Ihre Flächen liegen nämlich gleichzeitig in zwei, beim Würfel in vier benachbarten

Oktanten (s. beistehende Figuren), woher es kommt, dass keine von der ursprünglichen verschiedene Form aus denselben hervorgehen kann. Die tetraedrisch-hemiedrischen Krystallformen sind zwar noch symmetrisch nach den gewöhnlichen Symmetrieebenen, nicht aber mehr nach den Haupt-Symmetrieebenen. Sie verhalten sich in dieser Hinsicht also gerade umgekehrt wie die pyritoedrisch-hemiedrischen Formen. Dies liegt wieder darin begründet, dass es hier die Haupt-Symmetrieebenen sind, welche die von der Hemiedrie betroffenen Räume begrenzen. Auch für die äußerlich unverändert

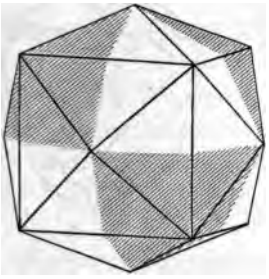


Fig. 87.

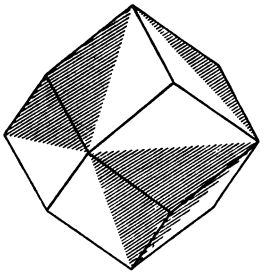


Fig. 88.

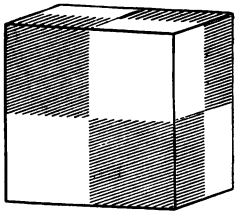


Fig. 89.

gebliebenen Pyramidenwürfel, das Rhombendodekaeder und den Würfel tetraedrisch krystallisierender Substanzen haben die Haupt-Symmetrieebenen ihre Eigenschaft als solche verloren. Jene sind ebenfalls im Grunde genommen hemiedrische Formen, nämlich Grenzformen der Hexakistetraeder und Deltoiddodekaeder. Der hemiedrische Pyramidenwürfel ist derjenige spezielle Fall des Hexakistetraeders, bei welchem $m = \infty$ wird, der Würfel derjenige, bei welchem auch n diesen Wert erreicht. Das Rhombendodekaeder kann man als dasjenige Deltoiddodekaeder betrachten, bei welchem $m = \infty$ wird. Auch in ihrem physikalischen Verhalten lassen die an einem tetraedrisch-hemiedrischen Krystalle auftretenden Flächen der Pyramidenwürfel, des Rhombendodekaeders und des Würfels erkennen, dass sie nur mehr nach den gewöhnlichen, nicht aber nach den Haupt-Symmetrieebenen symmetrisch sind.

Kombinationen tetraedrisch-hemiedrischer Formen werden wir bei den zu besprechenden Beispielen dieser Hemiedrie kennen lernen.

1. **Fahlerz.** Dieses Mineral liefert das ausgezeichnetste Beispiel für die tetraedrische Hemiedrie. Seine stahlgrauen bis eisenschwarzen, außerordentlich stark metallglänzenden Krystalle zeigen

oft vorherrschend ein Tetraeder, welches wir als das positive $+\frac{O}{2}$ bezeichnen wollen, dabei das Pyramidentetraeder $+\frac{2O2}{2}$ und, im allgemeinen mehr untergeordnet, das Rhombendodekaeder. Sie geben dadurch die tetraedrische Natur sofort zu erkennen. Die Figuren 90—92 stellen einige andere Kombinationen dar: Fig. 90 das positive Tetraeder mit dem die Tetraederecken dreiflächig zuspitzenden

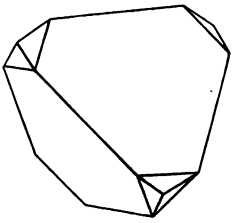


Fig. 90.

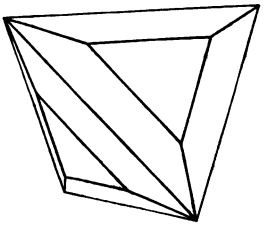


Fig. 91.

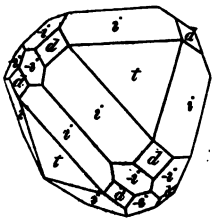


Fig. 92.

Rhombendodekaeder, Fig. 91 $+\frac{O}{2}$ mit dem die Tetraederkanten zuschärfenden Pyramidentetraeder $+\frac{2O2}{2}$, Fig. 92 endlich die Kombination $+\frac{O}{2}(t)\cdot+\frac{2O2}{2}(i)\cdot\infty O(d)\cdot-\frac{2O2}{2}(-i)$. Nicht selten erscheint auch das negative Tetraeder $-\frac{O}{2}$ als kleine Abstumpfung der Ecken des Haupttetraeders. Seine Flächen sind weniger glatt und glänzend als die des letzteren. Eine schmale gerade Abstumpfung der Kanten von $+\frac{O}{2}$ oder der entsprechenden Kanten von $+\frac{2O2}{2}$ ist auf den Würfel zurückzuführen.

Herrliche, zuweilen mit Flächen überladene Krystalle von Fahlerz kommen auf Spateisenstein aufgewachsen und von Bleiglanzkrystallen begleitet zu Horhausen bei Neuwied vor. An ihnen wurden außer den oben genannten Formen noch die Flächen eines positiven und negativen Pyramidentetraeders $\pm\frac{4O4}{2}$, eines positiven und negativen Deltoiddodekaeders $\pm\frac{\frac{3}{2}O}{2}$ (die zwölf kürzeren Kanten

von $\pm \frac{2O2}{2}$ gerade abstumpfend), des Pyramidenwürfels $\infty O3$ und zweier negativen Hexakistetraeder $-\frac{6O2}{2}$ und $-\frac{5O\frac{5}{3}}{2}$ beobachtet. Ihr Habitus entspricht im allgemeinen der Fig. 92. Ähnliche Krystalle kommen vor bei Müsen, Dillenburg in Nassau, Biber in Hessen, Clausthal im Harz u. a. Orten. Ein paar einfache Krystalle des letztgenannten Fundorts zeigt die in Fig. 93 abgebildete Stufe. Dieselben sitzen auf Kalkspat und Eisenspat; der eine besitzt die Form des positiven Tetraeders, der andere die des positiven Pyramidentetraeders $\frac{2O2}{2}$. Bei Kapnik in Ungarn finden sich schöne Fahlerzkrystalle auf Quarzdrusen. An denselben erscheint wohl vorherrschend das Deltoiddodekaeder $+\frac{\frac{3}{2}O}{2}$, kleiner $+\frac{2O2}{2}$ und ∞O.

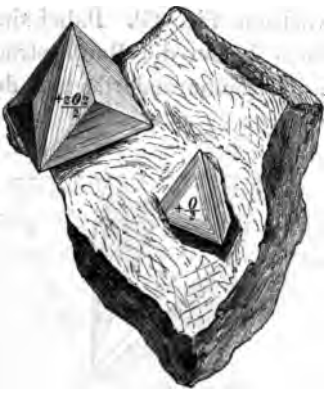


Fig. 93.

In einen gewissen Gegensatz zu allen anderen Fahlerzen treten durch den gänzlichen Mangel des positiven Tetraeders die in Begleitung von Schwerspat vorkommenden Krystalle von Brixlegg in Tirol. Sie sind durch das Vorwalten negativer Formen ausgezeichnet. Das Rhombendodekaeder herrscht vor, wodurch der Habitus der Krystalle bedingt ist. Zunächst erscheint dann das negative Tetraeder und das negative Pyramidentetraeder $-\frac{2O2}{2}$, während die Flächen des Würfels und des positiven Pyramidentetraeders $+\frac{2O2}{2}$ klein sind oder auch ganz fehlen. Die Flächen des Tetraeders sind rauh, woraus hervorgeht, dass dasselbe als das negative zu betrachten ist.

Oft sind zwei Fahlerzkrystalle zu einem Zwilling verbunden, indem zwei Tetraeder einander in der Weise durchwachsen, dass zwei Flächen derselben parallel liegen und das eine Individuum um eine zu jenen Flächen senkrechte Linie gegen das andere um 180°

gedreht ist. Gewöhnlich ist das eine Individuum kleiner als das andere, und drei seiner Ecken durchbrechen drei Flächen des letzteren (Fig. 94, wo das kleinere Tetraeder schraffiert ist). Eine zweite, seltener vorkommende Zwillingsbildung ist die, dass zwei Krystalle nach einer Würfelfläche symmetrisch sind und dabei einander durchwachsen (Fig. 95). Dabei sind die Achsen beider Individuen parallel, indes haben die Haupttetraederflächen des einen gleiche Lage wie die Gegentetraederflächen des anderen, falls letztere auftreten. Die

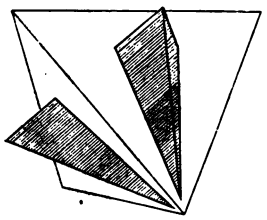


Fig. 94.

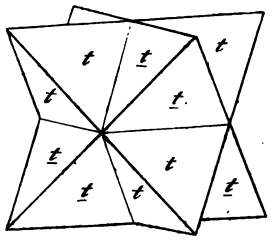


Fig. 95.

Tetraederkanten kreuzen sich rechtwinklig, und der beiden Individuen gemeinsame Kern des Zwillings ist ein Oktaeder. Zwillinge, welche wie der hier beschriebene aus zwei hemiedrischen Krystallen in der Weise zusammengesetzt sind, dass die Achsen derselben zwar parallel laufen, indes die ungleichen bei der betreffenden Hemiedrie in Betracht kommenden Krystallräume beider Individuen zusammenfallen, wodurch sich bei vollkommener Durchwachsung die beiden hemiedrischen Hälften gleichsam wieder zu einem holoedrischen Krystall ergänzen, bezeichnet man als Ergänzungszwillinge. Solche Ergänzungszwillinge sind auch die beim Schwefelkies vorkommenden sogen. Zwillinge des eisernen Kreuzes (Fig. 77). Dort war die Zwillingsebene eine Fläche des Rhombendodekaeders, welche ja infolge der pyritoedrischen Hemiedrie ihren Charakter als Symmetrieebene verloren hatte; hier beim Fahlerz ist die Zwillingsebene eine Würfelfläche, welche bei der tetraedrischen Hemiedrie keine Symmetrieebene mehr ist und deshalb als Zwillingsebene auftreten kann.

An mehreren Fundorten, z. B. bei Clausthal, kommen Fahlerzkrystalle vor, welche mit kleinen Krystallen resp. einer zusammenhängenden Schicht von Kupferkies bedeckt sind. Da die Kupferkieskrystalle, welche dem quadratischen System angehören, mit ihrer

Hauptachse parallel zu einer Achse des Fahlerzes aufgelagert sind, so haben wir hier ein Beispiel einer regelmäßigen Verwachsung zweier Mineralien vor uns. Bei Kapnik kommen regelmäßige Verwachsungen von Fahlerz und Zinkblende vor. Die Zinkblende, welche wir sogleich näher betrachten werden, krystallisiert gleichfalls tetraedrisch-hemiedrisch. Auf den Blendekrystallen, welche vorherrschend das Rhombendodekaeder zeigen, sitzen nun in sehr großer Anzahl kleine Fahlerzkrystalle in gesetzmäßiger Stellung. Ihre Achsen gehen den Achsen der Blendekrystalle parallel, doch findet ein Unterschied insofern statt, als das Haupttetraeder des Fahlerzes dem Gegentetraeder der Blende parallel gerichtet ist. Freilich ist dieser Unterschied kein wesentlicher, da ja die Bezeichnung der Tetraeder als positiv oder negativ nur auf einem Übereinkommen beruht. Man kann deshalb die in Rede stehende Verwachsung von Fahlerz und Zinkblende nicht nur als eine regelmäßige, sondern auch als eine vollkommen parallele bezeichnen.

Die Fahlerzkrystalle lassen keine deutliche Spaltbarkeit erkennen. Sie sind spröde und besitzen muscheligen Bruch. Ihre Härte beträgt 3—4. Die chemische Zusammensetzung des Fahlerzes ist eine komplizierte und schwankende. Wir sehen deshalb davon ab, hier eine chemische Formel für dasselbe aufzustellen, und bemerken nur, dass es im allgemeinen neben Schwefelantimon Sb_2S_3 oder Schwefelarsen As_2S_3 die Schwefelmetalle Cu_2S, Ag_2S, Hg_2S, FeS und ZnS in wechselnden Mengen enthält. Man unterscheidet als Varietäten: 1) dunkles oder Antimonfahlerz (ohne Quecksilber, aber häufig mit beträchtlichem, bis 30% steigendem Silbergehalt); 2) lichtes oder Arsenfahlerz (ohne Silber und Quecksilber); 3) Antimonarsenfahlerz (enthält Antimon und Arsen in den verschiedensten Verhältnissen, Silber meist nur in geringer Menge); 4) Quecksilberfahlerz (ein Antimonfahlerz mit einem bis zu 17% steigenden Gehalte an Quecksilber). Der Kupfergehalt der Fahlerze schwankt zwischen 33—44%. Das Fahlerz gehört zu den häufigsten Erzen und findet sich mit anderen Erzen zusammen auf Gängen und Lagern. Einige wichtige Fundorte wurden schon genannt.

2. Die **Zinkblende** (Blende) bildet gleichfalls ein interessantes Beispiel für die tetraedrische Hemiedrie, wenngleich ihre Krystalle die hemiedrische Ausbildung meist nicht so auffallend erkennen lassen wie die des Fahlerzes. Oft zeigen dieselben beide Tetraeder in Kombination mit dem Würfel. Die Flächen der Tetraeder sind

dann häufig nahezu gleich groß, wodurch eine scheinbar holoedrische Kombination ($O \cdot \infty O \infty$) entsteht. Indes sind die Flächen des einen, als positiv bezeichneten Tetraeders manchmal glatt, die des negativen hingegen matt oder rauh. Auch sind häufig die Flächen von $+\frac{O}{2}$ parallel den Kombinationskanten mit $-\frac{O}{2}$ dreifach gestreift, und auch die Würfelflächen weisen eine Streifung nach den Kombinationskanten mit dem negativen Tetraeder auf. Doch ist hervorzuheben, dass an anderen Krystallen umgekehrt die matten Tetraederflächen eine dreifache Streifung und die Würfelflächen eine rechteckige nach den Kombinationskanten mit beiden Tetraedern tragen, dass ferner einmal die glänzenden Tetraederflächen, ein anderes Mal die matten die größte Ausdehnung besitzen, woraus hervorgeht, dass Glanz, Flächenbeschaffenheit und Ausdehnung hier sehr schwankende Eigenschaften sind und zur sicheren Unterscheidung des positiven und des negativen Tetraeders, überhaupt positiver und negativer Formen, nicht benutzt werden können. Eine wirklich sichere Unterscheidung positiver und negativer Formen können nur physikalische Eigenschaften der Krystalle liefern, welche von den erwähnten schwankenden Erscheinungen unabhängig sind. Da sind es nun die Ätzfiguren, welche ein vortreffliches und untrügliches Mittel an die Hand geben, positive und negative Formen zu unterscheiden. Behandelt man einen Zinkblendekrystall ein paar Minuten mit siedender, verdünnter Salzsäure, so bedecken sich seine Flächen mit deutlichen Ätzfiguren. Auf den Würfelflächen erscheinen z. B. langgestreckte, rechteckige Eindrücke, deren längere Seiten den Kombinationskanten mit dem einen, die kürzeren den Kombinationskanten mit dem anderen Tetraeder parallel gehen. Indem man nun stets das erstere Tetraeder als das positive, das andere als das negative bezeichnet, kann man bei jedem einzelnen Krystalle die Unterscheidung positiver und negativer Formen leicht und sicher machen. Auf diese Weise ist auch die Stellung der unten angegebenen hemiedrischen Formen ermittelt worden.

Sehr häufig erscheint an den Blendekrystallen das Rhombendodekaeder; nach seinen Flächen sind die Krystalle sehr vollkommen spaltbar. Zu dem Dodekaeder treten oft untergeordnet die beiden Tetraeder, namentlich aber ein Pyramidentetraeder $\frac{3O3}{2}$ und zwar

meist in den positiven, sehr selten in den negativen Oktanten. Andererseits erscheint als negative Form ziemlich häufig das Pyramidentetraeder $\frac{2\,O\,2}{2}$. Fig. 96 stellt eine Kombination der genannten Formen dar, wozu noch der Würfel kommt, und zwar ist $d = \infty O$, $t = +\frac{O}{2}$, $-t = -\frac{O}{2}$, $y = +\frac{3\,O\,3}{2}$, $-i = -\frac{2\,O\,2}{2}$, $h = \infty O \infty$. Sehr häufig tritt auch das negative Pyramidentetraeder $-\frac{\frac{5}{2}\,O\,\frac{5}{2}}{2}$ auf. Mehr untergeordnet beobachtet man zuweilen die Flächen verschiedener Pyramidenwürfel, sowie mehrerer Deltoiddodekaeder und Hexakistetraeder, letztere beide stets in negativer Stellung (z. B. $-\frac{3\,O}{2}$, $-\frac{2\,O}{2}$; $-\frac{3\,O\,\frac{3}{2}}{2}$, $-\frac{4\,O\,\frac{4}{3}}{2}$). Die Flächen der negativen Formen sind im allgemeinen im Gegensatz zu denjenigen der positiven häufig gewölbt und mit krummlinigen Zeichnungen versehen.

Eine solche Krümmung ist z. B. sehr oft an den Flächen von $-\frac{\frac{5}{2}\,O\,\frac{5}{2}}{2}$ wahrzunehmen, welche zwölf Kanten des Rhombendodekaeders schief abstumpfend in Gestalt spitzer gleichschenkliger, zu je zwei mit der Basis zusammenstoßender Dreiecke auftreten. Je drei treffen mit der Spitze dort zusammen, wo in den negativen Oktanten eine dreikantige Ecke des Dodekaeders liegt. Hierdurch entsteht daselbst eine sechskantige, von abwechselnden Flächen des Dodekaeders und des Pyramidentetraeders gebildete Ecke. Die gleichschenkligen Dreiecke sind nun sehr oft kegelartig gerundet, wodurch sie sofort auffallen; auch bemerkt man wohl auf denselben von der Spitze ausgehende und nach der Basis hin aus einander laufende (divergierende) Streifen, oder die Flächen sind nach solchen Linien geknickt. Alle diese Eigentümlichkeiten kann man an Krystallen der verschiedensten Fundorte beobachten.

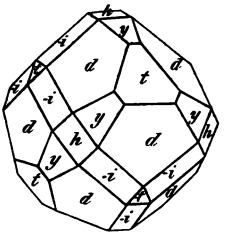


Fig. 96.

Außerordentlich häufig findet bei der Zinkblende Zwillingsbildung statt. Man erhält die Stellung der beiden Individuen, wenn man sich eines derselben, nachdem es zunächst mit dem anderen in

parallele Lage gebracht ist, um die Senkrechte zu einer Tetraederfläche um 180° gedreht denkt. Am Modell lässt sich diese Verwachsung in der Weise leicht darstellen, dass man einen Krystall nach einer Tetraederfläche durchschneidet und darauf die eine Hälfte gegen die andere um 180° dreht. Einen Zwilling der Kombination $+\frac{O}{2} \cdot -\frac{O}{2}$ stellt Fig. 97 dar; die positiven Tetraederflächen sind mit o', die negativen mit o bezeichnet. Da die beiden Tetraeder mit gleich großen Flächen erscheinen, so gleicht der Zwilling äußerlich vollkommen dem holoedrischen Fig. 46, für welchen eine Oktaeder-

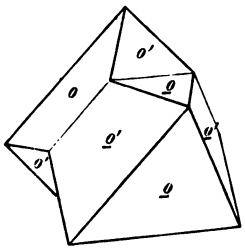


Fig. 97.

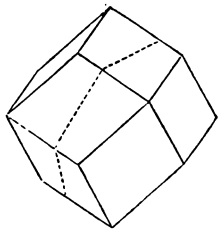


Fig. 98.

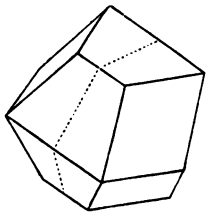


Fig. 99.

fläche Zwillingsebene ist. Die beiden Zwillinge sind aber dadurch wesentlich verschieden, dass bei dem holoedrischen die beiden Hälften zur Zwillingsebene symmetrisch sind, während bei dem hemiedrischen an der Zwillingsgrenze positive und negative Tetraederflächen gegenüberliegen. Infolge dessen sind die beiden Individuen nicht symmetrisch zu der gemeinsamen Grenzfläche. Es ist dies übrigens im Grunde dieselbe Art der Zwillingsbildung, welche oben für das Fahlerz (Fig. 94) als die häufigere angegeben wurde. Sehr oft weisen die Zwillinge vorherrschend das Rhombendodekaeder auf. Fig. 98 zeigt ein Dodekaeder, an welchem durch punktierte Linien die Lage einer Tetraederfläche angegeben ist. Denkt man sich den Krystall nach dieser Ebene durchgeschnitten, und die rechte Hälfte gegen die linke um 180° gedreht, so erhält man den Zwilling Fig. 99. Derselbe besitzt keine einspringenden Kanten. Ein besonderes Interesse bietet der in Fig. 100 im wesentlichen natur-

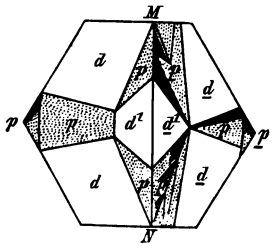


Fig. 100.

getreu dargestellte Blendezwilling von Horhausen. Derselbe zeigt das Rhombendodekaeder (*d*) in Kombination mit den matten und teilweise stark gewölbten resp. geknickten Flächen eines Pyramidentetraeders (*p*), wahrscheinlich $-\frac{\frac{5}{2}O\frac{5}{2}}{2}$. Er ist so gezeichnet, dass sechs ringsum liegende Dodekaederflächen, welche, wie bekannt, unter einem Winkel von 120° zusammentreffen, senkrecht zur Ebene des Papiers stehen, während die beiden nach oben gewandten negativen Tetraederflächen, falls sie an dem Zwilling vorhanden wären, parallel zur Ebene der Zeichnung liegen würden. Die beiden Individuen stoßen in einer Fläche zusammen, welche zur Ebene der Zeichnung senkrecht steht, mit *MN* bezeichnet ist und als Krystallfläche das Symbol $2\,O\,2$ erhalten würde, also demjenigen Ikositetraeder angehört, dessen Flächen die Kanten des Rhombendodekaeders gerade abstumpfen. Nach dem Gesagten steht sie auch auf der gemeinsamen (negativen) Tetraederfläche beider Individuen senkrecht. Die beiden mit d^1 und $\bar{d}^1$ bezeichneten Dodekaederflächen bilden einen einspringenden Winkel von 109° 28′.

Man kann das eine Individuum in die Stellung des anderen bringen, wenn man es um die Senkrechte zur Ebene der Zeichnung (resp. zu der gemeinsamen Tetraederfläche) um 180° dreht. Andrerseits liegen aber die beiden Individuen zu der Ikositetraederfläche *MN* symmetrisch, woraus folgt, dass man dieselbe als Zwillingsebene betrachten kann. Diese Zwillingsebene ist hier zugleich Verwachsungsfläche. Da aber die relative Stellung der beiden Individuen zu einander genau dieselbe ist, wie bei den in Fig. 97 und 99 dargestellten Zwillingen, so kann man auch die letzteren auf das Gesetz: »Zwillingsebene eine Fläche von $2\,O\,2$« zurückführen, freilich mit dem Unterschiede, dass bei ihnen dieses Gesetz nicht sogleich einleuchtet, weil beide Individuen nicht mit dieser Zwillingsebene, sondern mit einer Tetraederfläche verwachsen sind.

Häufig beobachtet man an den Krystallen der Zinkblende wiederholte Zwillingsbildung, oder es sind denselben zahlreiche Zwillingslamellen parallel einer Tetraederfläche eingelagert. Auch findet Zwillingsbildung nach mehreren Tetraederflächen zugleich statt. Es ist deshalb oft schwierig, derlei komplizierte Zwillinge richtig zu deuten.

Die Blendekrystalle sind nur ganz selten farblos, in der Regel gelb, grünlichgelb, rot, braun oder schwarz gefärbt, vollkommen

durchsichtig bis undurchsichtig. Auf spiegelnden Flächen zeigen sie Diamantglanz. Spez. Gew. = 3,9—4,2, Härte = 3,5—4. Die Blende, ein sehr wichtiges Zinkerz, findet sich außer in deutlichen Krystallen häufig in krystallinischen Massen, auf Gängen und in Lagern, oft auch in Hohlräumen des Gesteins (so im Kalkstein und Dolomit), allein oder in Begleitung von anderen Erzen, namentlich von Bleiglanz, auch von Fahlerz oder Kupferkies. Besonders wichtige Fundorte sind z. B. Freiberg, Zwickau, Neudorf im Harz, Przibram, Kapnik, Cumberland, Cornwall, Spanien, Nordamerika.

3. Ein drittes deutliches Beispiel tetraedrisch-hemiedrischer Flächenentwicklung liefert der **Boracit**, welcher in einzelnen eingewachsenen, ringsum ausgebildeten Krystallen im Anhydrit und Gyps von Lüneburg, auch im Carnallit bei Stassfurt vorkommt. Die farblosen oder weißlichen, wasserhellen bis kantendurchscheinenden Krystalle zeigen häufig vorherrschend den Würfel mit abwechselnd (durch $+\frac{O}{2}$) abgestumpften Ecken, doch kommen auch solche mit vorherrschendem Tetraeder und untergeordnetem Würfel vor. Auch das Rhombendodekaeder erscheint allein oder in Kombination mit $+\frac{O}{2}$. Wieder andere Krystalle weisen die Kombination $\infty O \infty \cdot \infty O \cdot + \frac{O}{2} \cdot - \frac{O}{2}$ mit wechselnder Ausdehnung der verschiedenen Formen auf. Die Flächen des positiven Tetraeders sind meist glänzend, die des negativen matt. Nicht selten beobachtet man auch in den positiven Oktanten die Flächen eines Hexakistetraeders $+\frac{5 O \frac{5}{2}}{2}$, in den negativen diejenigen des Pyramidentetraeders $-\frac{2 O 2}{2}$. Fig. 101 stellt eine Kombination sämtlicher genannten Formen dar: $h = \infty O \infty$, $d = \infty O$, $t = + \frac{O}{2}$, $-t = -\frac{O}{2}$, $-i = -\frac{2 O 2}{2}$, $a = + \frac{5 O \frac{5}{2}}{2}$.

Wie wir früher bei Besprechung der optischen Eigenschaften der Krystalle (S. 37) gesehen haben, zeigen die im regulären System krystallisierenden Substanzen einfache Lichtbrechung. Demnach müsste auch der Boracit einfachbrechend sein. Dies ist jedoch nicht der Fall. Im Gegenteil zeigen die Boracitkrystalle eine deutliche

Doppelbrechung und erweisen sich als optisch zweiachsig; sie verhalten sich in optischer Beziehung wie Krystalle des rhombischen Systems. Ja, die äußerlich einfach und entschieden regulär erscheinenden Krystalle erweisen sich bei genauerer Prüfung, wobei das optische Verhalten nach verschiedenen Richtungen sowie die Gestalt der Ätzfiguren hauptsächlich in Betracht kommt, als kompliziert zusammengesetzte Zwillingskrystalle, welche aus mehreren rhombischen Individuen aufgebaut sind. Dies ist nur möglich dadurch, dass die Winkelverhältnisse der rhombischen Teilkrystalle denen eines regulären Krystalles so außerordentlich nahe stehen, dass sie durch selbst sehr genaue Messungen von letzteren nicht unterschieden werden können. Die Art der Zusammensetzung aus mehreren Individuen ist bei den verschiedengestalteten Boracitkrystallen verschieden. Diejenigen z. B., welche vorherrschend das Rhomben-

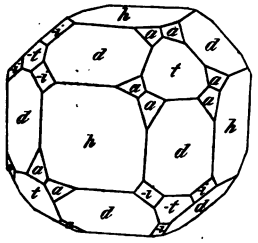


Fig. 101.

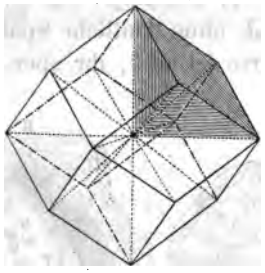


Fig. 102.

dodekaeder zeigen, bestehen im allgemeinen aus zwölf rhombischen Pyramiden, welche mit ihren Spitzen in der Mitte des Krystalles zusammenstoßen, während ihre Basis von je einer Dodekaederfläche gebildet wird. Fig. 102 veranschaulicht diese Art der Zusammensetzung; die nach der Mitte zusammenlaufenden Kanten der Pyramiden sind punktiert und eine der Pyramiden ist durch Schraffierung hervorgehoben. Das merkwürdigste ist nun, dass die bei gewöhnlicher Temperatur doppeltbrechenden Krystalle beim Erhitzen auf 265° C. plötzlich ihre Doppelbrechung verlieren und sich in einfach brechende Krystalle verwandeln, wobei zugleich der komplizierte Aufbau aus mehreren Teilkrystallen verschwindet. Was die Boracitkrystalle bei gewöhnlicher Temperatur äußerlich schon zu sein scheinen, nämlich einfache reguläre Krystalle, das werden sie in Wirklichkeit erst bei 265°. Beim Erkalten unter diese Temperatur

tritt wieder das umgekehrte ein: die Krystallsubstanz ist wieder doppeltbrechend und jeder einzelne Krystall zeigt sich aus mehreren zwillingsartig verbundenen Individuen zusammengesetzt. Dieses höchst interessante Verhalten unseres Minerals ist nun so zu erklären, dass die Substanz desselben dimorph ist, nämlich regulär bei einer Temperatur über 265° und rhombisch bei einer solchen unter 265°. Die Winkelverhältnisse der rhombischen Modifikation kommen aber denjenigen der regulären so außerordentlich nahe, dass es bei Anwendung unserer Messinstrumente nicht möglich ist, beide zu unterscheiden. Die Folge davon ist, dass beide Modifikationen in einander übergehen können, ohne dass diese Umwandlung äußerlich bemerkbar wird.

Der Boracit besteht aus borsaurer Magnesia mit Chlormagnesium; seine Zusammensetzung kann durch die etwas komplizierte Formel $2\,Mg_3B_8O_{15} + MgCl_2$ ausgedrückt werden. Die Krystalle sind glasglänzend, ohne deutliche Spaltbarkeit und zeigen muscheligen Bruch; ihre Härte ist = 7, ihr spez. Gew. = 3.

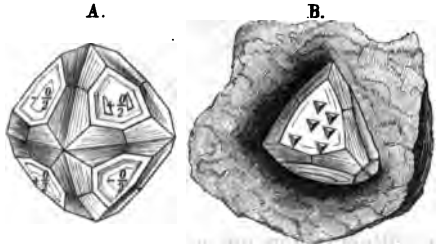


Fig. 103.

4. Diamant. Die Krystalle dieses am meisten geschätzten Edelsteins zeigen zwar in der Regel Formen, welche auf eine holoedrische Ausbildung hindeuten, allein aus gewissen Erscheinungen, die gleich zur Sprache kommen sollen, hat man geschlossen, dass sie in Wirklichkeit hemiedrisch seien. Ihre Flächen sind gewöhnlich gerundet oder gestreift, was manchmal die genaue Bestimmung derselben erschwert, ja unmöglich macht. Die beistehenden Figg. 103—105, welche sämtlich nach der Natur, freilich vergrößert, gezeichnet sind, führen uns eine Reihe von verschiedenen Formen vor. Fig. 103 A. zeigt einen hübschen losen Krystall von Kimberley (Südafrika) mit vorherrschendem, scheinbar holoedrischem Oktaeder, das jedoch in Wirklichkeit als eine Kombination von $+\frac{O}{2}$ und $-\frac{O}{2}$ im Gleichgewicht zu betrachten ist. Die Kanten des Oktaeders sind durch je zwei (im Ganzen 24) symmetrisch-fünfseitige Flächen ab-

gestumpft, welche aber stark gerundet oder nach der symmetrischen Halbierungslinie geknickt sind, so dass man eigentlich im Ganzen 48 Flächen vor sich hat, die zu je sechs um eine Oktaeder- resp. Tetraederfläche gruppiert sind. Dieselben sind ihrer Lage nach insgesamt als einem Hexakisoktaeder (resp. einem positiven und dem entsprechenden negativen Hexakistetraeder im Gleichgewicht) angehörig zu betrachten. Die Oktaederflächen sind nach den Kombinationskanten mit jenen Flächen gestreift. Ebenfalls aus Südafrika (Cap) stammt der in Fig. 103 B. abgebildete ganz ähnlich gestaltete

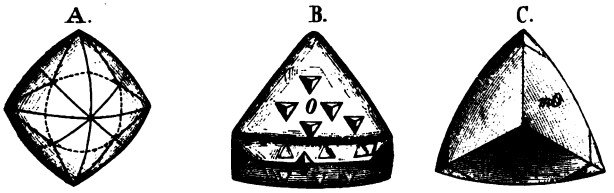


Fig. 104.

Krystall, welcher jedoch nicht lose ist, sondern in einem Tuff steckt. Derselbe zeigt auf den Oktaederflächen zierliche, drei- und gleichseitige Vertiefungen, eine beim Diamant sehr häufige Erscheinung. Einen stark gerundeten Krystall aus Brasilien sehen wir in Fig. 104 A. Seine Form ist, oberflächlich betrachtet, die eines gerundeten Pyramidenoktaeders mO, dessen Symbol nicht näher bestimmbar ist; bei genauerer Betrachtung bemerkt man jedoch, dass jede Fläche nach der Höhenlinie (in der Figur punktiert) schwach geknickt ist, dass also im ganzen wieder 48 Flächen vorhanden sind, demnach ein Hexakisoktaeder vorliegt, welches einem Pyramidenoktaeder sehr nahe steht. Häufig beobachtet man auch stark gerundete Rhombendodekaeder, deren Flächen nach der kurzen Diagonale geknickt sind, woraus folgt, dass man es in Wirklichkeit mit einem der Form ∞O sehr nahestehenden Pyramidenwürfel zu thun hat. Seltener findet man Diamanten in der Form des Würfels, wieder mit gerundeten oder unebenen Flächen. Wirklich eben erscheinen überhaupt wohl nur die Flächen des Oktaeders resp. der Tetraeder Nach diesen Flächen ist der Diamant auch deutlich spaltbar.

Zwillinge kommen häufig vor, so anscheinend nach dem bei holoedrischen Krystallen gewöhnlichen Gesetze: Zwillingsebene eine Fläche des Oktaeders. Zwei solche Zwillinge sind in Fig. 104 B.

und C. abgebildet. Sie sind beide nach der zur Zwillingsebene senkrechten Richtung stark verkürzt, erscheinen deshalb plätten- oder linsenförmig. Der in Fig. 104 B. wiedergegebene weist die mit dreiseitigen Eindrücken bedeckten Flächen des Oktaeders, der andere wesentlich diejenigen eines gerundeten Pyramidenoktaeders mO auf. Der letztere ist so gezeichnet, dass die Zwillingsebene in die Ebene des Papiers fällt, weshalb das zweite hintere Individuum nicht sichtbar ist.

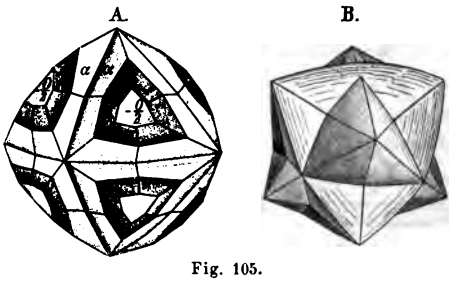


Fig. 105.

Während die bisher besprochenen einfachen und Zwillingskrystalle des Diamants eine hemiedrische Entwicklung nicht erkennen lassen, weist eine zweite Art von Zwillingen bestimmt auf das Vorhandensein der tetraedrischen Hemiedrie hin. Solche Zwillinge von besonderer Schönheit (von Brasilien, befindlich in der Münchener Staatssammlung) sind in Fig. 105 A. und B. wiedergegeben. Der erste derselben weist die Flächen eines Tetraeders, welches wir als $-\frac{O}{2}$ betrachten wollen, sowie diejenigen eines negativen, mattflächigen Hexakistetraeders β und eines positiven, glänzenden Hexakistetraeders α auf. Gehen wir von der rechts oben gelegenen Tetraederfläche $-\frac{O}{2}$ aus, so finden wir um dieselbe zunächst sechs Flächen β gruppiert, auf welche dann die Flächen α folgen. Die beiden mit α signierten Flächen stoßen nun in einer einspringenden Kante zusammen; dasselbe ist stets bei je zwei in gleicher Weise benachbarten Flächen des glänzenden Hexakistetraeders der Fall, so dass der Krystall von Rinnen umzogen ist, welche annähernd in der Richtung der Oktaederkanten liegen. Diese Erscheinung ist in folgender Weise zu erklären. Wir haben einen Zwilling vor uns, dessen beide einzelne Individuen von den Flächen eines positiven Hexakistetraeders α, eines negativen β und des negativen Tetraeders $-\frac{O}{2}$ umschlossen werden. Dabei herrschen die Flächen α vor.

Die beiden Krystalle haben sich nun in der Weise durchwachsen, dass der eine gegen den andern um eine Achse um 90° gedreht ist; die Achsensysteme beider fallen zusammen, allein der eine hat seine positiven Oktanten da liegen, wo der andere die negativen hat. Infolge dessen entstehen die einspringenden Kanten resp. Rinnen. Man kann das hier herrschende Zwillingsgesetz auch so aussprechen: der eine Krystall ist zu dem anderen symmetrisch nach einer Fläche des Würfels, welche demnach Zwillingsebene ist. Ganz ähnliche Zwillinge haben wir schon beim Fahlerz kennen gelernt (vergl. Fig. 95). Es sind Ergänzungszwillinge. Noch deutlicher wie der eben besprochene lässt der Zwilling Fig. 105B. die tetraedrische Hemiedrie erkennen. Hier durchwachsen sich zwei Pyramidentetraeder, von welchen jedes aufs bestimmteste hervortritt. Letzteres ist die Folge davon, dass die Flächen des Tetraeders fehlen, wodurch die aus den Flächen des einen Individuums hervorbrechenden Ecken des anderen Hemiedrie und Zwillingsbildung um so schärfer zur Erscheinung bringen. —

Der Diamant besitzt den höchsten Härtegrad (10), sein spezifisches Gewicht beträgt 3,5—3,6. Er ist farblos und wasserhell, doch auch oft grau, braun, gelb, grün, blau oder rot, selten schwarz gefärbt. Sein hoher Glanz tritt besonders nach dem Schleifen und Polieren hervor; bekannt ist seine starke Lichtbrechung und sein lebhaftes, auf der intensiven Farbenzerstreuung beruhendes Farbenspiel. Der Diamant besteht aus Kohlenstoff, also aus einer nichts weniger als seltenen Substanz. In Sauerstoff verbrannt liefert er Kohlensäure. Im Jahre 1694 wurden zu Florenz die ersten Diamanten in einem großen Brennspiegel verbrannt. Die Bildungsweise des Diamants ist noch nicht aufgeklärt, ebenso wenig wie die Versuche, künstliche Diamanten herzustellen, bislang einen nennenswerten Erfolg aufzuweisen haben. Als Nachahmungen kommen stark lichtbrechende bleihaltige Glasflüsse (Straß) in den Handel, welche jedoch bald Glanz und Glätte verlieren, da ihre Härte weit geringer als die der echten Diamanten ist. Der Diamant findet sich besonders lose im aufgeschwemmten Lande, den sogen. Diamantseifen, sowie eingeschlossen im sogen. Diamantsandstein, jedoch auch in gewissen Schiefergesteinen, Konglomeraten etc. Als die wichtigsten Fundorte sind zu nennen: Vorderindien, der älteste und berühmteste Fundort, jetzt erschöpft; Brasilien, namentlich Tejuko oder Diamantina in der Provinz Minas Geraes; Austra-

lien; in neuester Zeit besonders das Gebiet des Vaal- und Oranjeflusses im südöstlichen Afrika. Häufig ist der Diamant von anderen wertvollen Mineralien begleitet, so von Gold, Topas, Granat u. a. Der Wert der Diamanten hängt ab von ihrer Größe, Reinheit und Farbe. Bei geschliffenen Steinen beeinflusst auch die Art des Schliffes den Preis. Früher wurden dieselben blos etwas poliert; die Agraffe des kaiserlichen Mantels Karls des Großen ist mit solchen ungeschliffenen Diamanten besetzt. Erst Ludwig van Berguem aus Brügge in Flandern fand 1456, dass man den so harten Edelstein in seinem eigenen Pulver schleifen könne. Nach der Form des Schliffes unterscheidet man hauptsächlich Brillanten und Rosetten. Ein Brillant besteht aus zwei ungleichen, abgestumpften Kegeln mit gemeinsamer Basis. Die obere, einer Würfelfläche parallele Fläche ist am breitesten und von dreieckigen und rhombischen Facetten umgeben; die Abstumpfungsfläche des unteren Kegels ist weit kleiner. Bei den flachen Rosetten geht die Basis einer Oktaederfläche parallel; ihre Spitze endigt mit sechs Sternfacetten. Die Brillanten fasst man meist à jour, d. h. man giebt ihnen keine Unterlage, wie den Rosetten.

Als einige der größten und schönsten, bisher gefundenen Diamanten seien erwähnt:

1. Der Orlow oder Amsterdamer, 194¼ Karat (1 K. ungefähr = ⅕ g) schwer, schmückt die Spitze des russischen Szepters. Derselbe stammt aus den alten Gruben Indiens und soll früher ein Auge eines indischen Götzen gebildet haben. Letzter Preis 450000 Rubel.

2. Der Regent oder Pitt, 136¾ Karat, im französischen Kronschatz, wegen seines gefälligen Brillantschliffes der schönste unter allen großen. Er stammt aus den Minen von Parteal (Ostindien). Im rohen Zustande wog er 410 Karat, verlor also durch den Schliff ⅔ seiner Größe. Die Operation des Schleifens nahm fast 2 Jahre in Anspruch und kostete 27000 Thaler.

3. Der Florentiner oder Toskaner, 139½ Karat, im Besitze des österreichischen Kronschatzes, rein, aber mit einem Stich ins Weingelbe. Wert: 700000 Thaler.

4. Der Südstern, der größte aller in Brasilien gefundenen Diamanten, 125 Karat (vor dem Schleifen 254 Karat), ein Brillant vom reinsten Wasser.

5. Der Koh-i-noor (Berg des Lichtes), 106 Karat, soll ein Stück des früher viel genannten indischen Groß-Moguls (793 Karat schwer) sein, wohlgeformter Brillant, gehört seit 1850 der Königin von England.

6. Der Stewart vom Cap der guten Hoffnung, auf etwa 290 Karat geschätzt, noch im Muttergestein aufsitzend, gegenwärtig im Besitz des KK. Hof-Mineralien-Kabinets in Wien.

XIII.

Die plagiedrische Hemiedrie. Salmiak, Chlorkalium, Rotkupfererz.

Außer den beiden in den vorhergehenden Kapiteln besprochenen giebt es noch ein drittes Gesetz, nach welchem im regulären System eine hemiedrische Formentwicklung stattfinden kann. Dasselbe steht zu den beiden ersten in einer einfachen Beziehung. Es bilden nämlich dabei weder die 6 gewöhnlichen noch die 3 Haupt-Symmetrieebenen allein die abwechselnd von der Hemiedrie betroffenen Räume, sondern alle neun Symmetrieebenen zusammen teilen die einzelnen holoedrischen Formen in 48 Krystallräume, und die in 24 abwechselnden derselben liegenden Flächen resp. Flächenteile dehnen sich stärker aus, während die übrigen verschwinden. Diese dritte Art der Hemiedrie bezeichnet man als die plagiedrische. Schon die große Zahl der in Betracht kommenden Krystallräume lässt vermuten, dass nur in seltenen Fällen eine äußere Veränderung der holoedrischen Gestalten eintreten wird; meistens werden die einzelnen Flächen derselben gleichzeitig in mehreren benachbarten Räumen liegen, wodurch, wie wir schon früher sahen, eine solche Veränderung ausgeschlossen bleibt. In der That sind es nur die Hexakisoktaeder, welche unter dem Einfluss der plagiedrischen Hemiedrie in neue Formen übergehen.

Fig. 106 stellt ein Hexakisoktaeder dar, dessen 48 Flächen, in den erwähnten Räumen liegend, abwechselnd weiß gelassen und schraffiert sind. Die weiß gelassenen Flächen liefern für sich die in Fig. 107a, die schraffierten die in Fig. 107b wiedergegebene Form, deren Flächen die Gestalt ungleichseitiger Fünfecke besitzen.

Man bezeichnet diese Formen als Pentagon-Ikositetraeder. Während bei der pyritoedrischen Hemiedrie die sechs gewöhnlichen, bei der tetraedrischen die drei Haupt-Symmetrieebenen ihren Charakter als solche verlieren, gilt dies, wie nach dem Gesagten zu erwarten ist, hier von allen neun Symmetrieebenen; die Pentagon-Ikositetraeder besitzen also überhaupt keine Symmetrieebene mehr. Alle hemiedrischen Formen aber, welche nach keiner Ebene mehr symmetrisch sind, haben eine gemeinsame Eigenschaft: die beiden Hälftflächner können durch keinerlei Drehung in parallele Stellung gebracht werden, sie verhalten sich zu einander wie die rechte zur linken Hand. Solche entgegengesetzte hemiedrische Formen nennt man enantiomorph, und eine Hemiedrie, welche dergleichen lie-

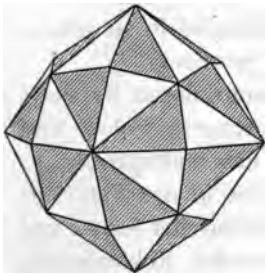


Fig. 106.

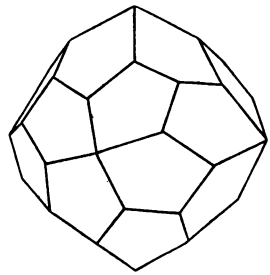


Fig. 107a.

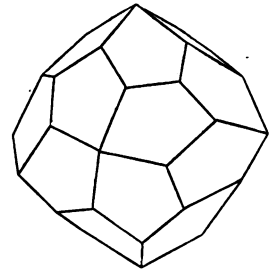


Fig. 107b.

fert, ebenfalls eine enantiomorphe. Je zwei aus demselben Hexakisoktaeder hervorgegangene Pentagon-Ikositetraeder verhalten sich zu einander wie Gegenstand und Spiegelbild, und zwar sowohl für den Fall, dass die spiegelnde Ebene einer Dodekaeder-, als auch einer Würfelfläche entspricht. Sie sind also zu einander symmetrisch sowohl nach den gewöhnlichen als auch nach den Haupt-Symmetrieebenen. Der in der Enantiomorphie liegende wesentliche Unterschied zwischen den plagiedrischen und den früher behandelten hemiedrischen Formen kommt auch in dem krystallographischen Symbol zum Ausdruck. Je zwei zusammengehörige Pentagon-Ikositetraeder bezeichnet man nicht, wie z. B. die beiden Pentagondodekaeder oder Tetraeder, als positives und negatives, sondern als rechtes und linkes. Betrachtet man nämlich die sechs einem oberen Oktanten des Hexakisoktaeders Fig. 106 angehörigen Flächen, so gehört jedesmal von den beiden obersten Flächen die rechts gelegene (weiße) dem einen Pentagon-Ikositetraeder (Fig. 107a), die

links gelegene (schraffierte) dem andern (Fig. 107b) an. Man nennt daher das erstere das rechte und bezeichnet es allgemein mit $\frac{mOn}{2}r$, das letztere das linke und bezeichnet es mit $\frac{mOn}{2}l$.

Wie schon erwähnt, bleiben alle übrigen holoedrischen Formen unter dem Einfluss der plagiedrischen Hemiedrie äußerlich unverändert. Es ist deshalb auch vom rein krystallographischen Standpunkte aus nicht eher möglich, zu entscheiden, ob eine regulär krystallisierende Substanz dieser Hemiedrie unterworfen ist, als bis man daran Flächen eines Hexakisoktaeders in der durch die Hemiedrie geforderten Verteilung beobachtet hat. Treten solche Flächen nicht auf, so geben anderseits die Ätzfiguren ein vorzügliches Mittel an die Hand, die Existenz der plagiedrischen Hemiedrie zu erkennen, wie wir gleich an einem Beispiele sehen werden.

Es sind bisher nur wenige Substanzen bekannt, deren Krystalle unzweifelhaft der plagiedrischen Hemiedrie unterliegen. Solche sind namentlich der Salmiak, das Chlorkalium und das Rotkupfererz.

1. **Salmiak** (Chlorammonium NH_4Cl). Dieses in der Natur als Sublimationsprodukt auf Klüften und Spalten vulkanischer Krater und mancher Lavaströme, zuweilen auch in brennenden Kohlenhalden (Oberhausen, Hänichen b. Dresden) in verhältnismäßig unbedeutender Menge vorkommende Salz kann aus seiner wässrigen Lösung leicht in deutlichen Krystallen erhalten werden. Dieselben zeigen gewöhnlich das Ikositetraeder $2O2$. Die plagiedrische Hemiedrie giebt sich an manchen Krystallen dadurch zu erkennen, dass die zu drei in einer Ecke zusammenlaufenden Kanten des Ikositetraeders durch je eine Fläche schief abgestumpft sind, welche einem linken Pentagon-Ikositetraeder $\frac{\frac{3}{2}O\frac{3}{1}}{2}l$ angehört (Fig. 108). Die Krystalle sind, da das zugehörige rechte Pentagon-Ikositetraeder nicht beobachtet wird, sämtlich linke.

Für die plagiedrisch-hemiedrische Natur der genannten Krystalle spricht auch eine feine Streifung der Flächen von $2O2$, welche stets einer solchen Kante parallel geht, die durch das Pentagon-Ikositetraeder abgestumpft wird, und zwar auf jeder der drei in demselben Oktanten liegenden Fläche einer anderen Kante. Durch leichtes Anätzen mit Wasser erhält man endlich an vielen Krystallen deutliche Ätzeindrücke, welche als kürzere oder längere vierseitige

Vertiefungen erscheinen, und deren Längsrichtung der erwähnten Streifung parallel geht (Fig. 109). Da diese Ätzfiguren die vollkommene Unsymmetrie des nur scheinbar holoedrischen Ikositetraeders aufs deutlichste erkennen lassen, so würden sie schon allein für sich die plagiedrische Hemiedrie des Salmiaks beweisen. Die Salmiakkrystalle sind manchmal merkwürdig verzerrt, indem sich die Flächen von $2O2$ und anderer Ikositetraeder in eigentümlicher Weise ungleich ausdehnen, gewisse auch ganz verschwinden. Es würde uns jedoch zu weit führen, des Näheren darauf einzugehen.

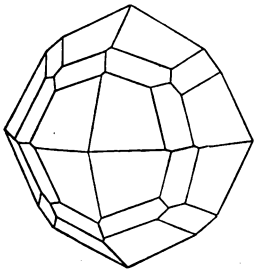


Fig. 108.

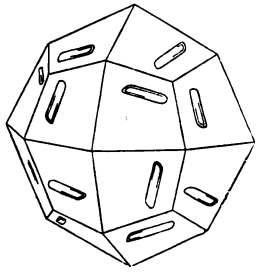


Fig. 109.

Reine Salmiakkrystalle sind farblos oder weiß, ohne deutliche Spaltbarkeit; Härte = 1,5—2, spez. Gew. = 1,5. Beim Erhitzen verflüchtigen sie sich leicht; die Dämpfe verdichten sich beim Abkühlen, wobei sich wieder Krystalle bilden können. Die natürlich vorkommenden Krystalle sind auf diese Weise durch Sublimation entstanden.

2. Die Salze des Kaliums sind stets isomorph mit den entsprechend zusammengesetzten Salzen des Ammoniums. So krystallisiert auch das **Chlorkalium** *KCl* ebenso wie das Chlorammonium (Salmiak) im regulären System. Dasselbe findet sich als Sylvin im Stassfurter Salzlager in prächtigen Krystallen von bedeutender Größe, welche die Kombination $\infty O \infty \cdot O$ zeigen. Der Isomorphismus zwischen Salmiak und Chlorkalium erstreckt sich aber auch auf die Symmetrieverhältnisse der scheinbar holoedrischen Formen, d. h. das Chlorkalium ist ebenfalls der plagiedrischen Hemiedrie unterworfen. Wenngleich man nämlich keine hemiedrischen Flächen mit Sicherheit an den Krystallen des Sylvins nachweisen konnte, so sprechen doch die auf den Würfelflächen beobachteten, unsymme-

trisch liegenden Ätzfiguren entschieden für die plagiedrische Hemiedrie. Dieselben haben zwar, ebenso wie die des Steinsalzes (vergl. S. 32 und Fig. 17), die Gestalt einer vierseitigen Pyramide, ihre Umrisslinien liegen aber nicht mit den Würfelkanten parallel, sondern schließen damit je einen Winkel von 16—18° ein. Im Vergleich zu den Ätzfiguren eines Steinsalzwürfels erscheinen diejenigen eines Würfels von Sylvin nach rechts gedreht; man müsste sie um 16—18° nach links drehen, wenn sie mit den ersteren in der Lage übereinstimmen sollten. Wegen dieser Lage und gemäß ihrer Stellung auf benachbarten Würfelflächen können die Flächen der Ätzfiguren nur einem Pentagon-Ikositetraeder angehören, wodurch die Zugehörigkeit der Sylvinkrystalle zur plagiedrischen Hemiedrie erwiesen ist. Es sei noch bemerkt, dass auch die Krystalle des mit Chlorkalium isomorphen Bromkaliums *KBr* und Jodkaliums *KJ* Ätzfiguren zeigen, nach welchen sie derselben Hemiedrie unterliegen.

Auch die Schlagfiguren der Würfel des Sylvins weichen von den am holoedrischen Steinsalz beobachteten (vergl. S. 27 und Fig. 14) ab. Während sie bei den letzteren einen vierstrahligen Stern bilden, dessen Strahlen in der Richtung der Diagonalen der Würfelfläche liegen, sind sie beim Sylvin zwar auch in der Regel vierstrahlig, aber die Strahlen verlaufen nicht mehr in der Richtung der Diagonalen, sondern haben eine zum Umriss der Würfelfläche unsymmetrische Lage, wie es der hemiedrischen Natur der Krystalle entspricht.

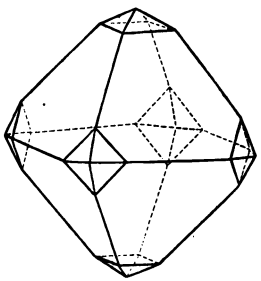


Fig. 110.

Hinsichtlich seiner übrigen physikalischen Eigenschaften gleicht der Sylvin sehr dem Steinsalz.

3. Die Krystalle des **Rotkupfererzes**, welches aus Kupferoxydul Cu_2O besteht, zeichnen sich durch einen lebhaften, dem Metallglanz nahekommenden Diamantglanz aus. Sie sind durchscheinend bis undurchsichtig und zeigen eine schön dunkelrote Farbe, welche namentlich bei den durchscheinenden Krystallen hervortritt. Gewöhnlich sind es Oktaeder, auch wohl Rhombendodekaeder, seltener Würfel; alle drei Formen kommen selbständig und in Kombinationen vor. Das Ikositetraeder 2 *O* 2 schärft die Ecken des Oktaeders vierflächig zu (Fig. 110) oder stumpft die Kanten des Rhombendodekaeders ab (Fig. 41). Als Abstumpfung der

Kombinationskanten des Rhombendodekaeders und des Ikositetraeders 2 O 2 beobachtete man bisweilen die Flächen eines Hexakisoktaeders, welchem das Zeichen 3 $O\frac{3}{2}$ zukommt. Dennoch fand man erst in neuester Zeit, dass die Rotkupfererzkrystalle der plagiedrischen Hemiedrie unterliegen. An Oktaedern von Wheal Phönix in Cornwall zeigten sich nämlich in der von der genannten Hemiedrie verlangten Anordnung untergeordnet die Flächen eines Hexakisoktaeders $\frac{3}{2}O\frac{3}{2}$, welche also einem Pentagon-Ikositetraeder angehören. Dasselbe ist ein linkes.

Die Krystalle sind nach den Oktaederflächen ziemlich vollkommen spaltbar; ihre Härte ist = 3,5—4, ihr spez. Gew. = 5,7—6.

Außer in mehr oder weniger vollkommen ausgebildeten Krystallen und in derben Massen kommt das Rotkupfererz auch in eigentümlichen haarförmigen oder netzartigen Bildungen vor, welche man mit dem besonderen Namen »Kupferblüte« belegt hat. Dieselbe besteht aus verzerrten Würfeln, welche nach einer krystallographischen Achse auffallend in die Länge gezogen sind. Die Kupferblüte zeichnet sich durch ihre prächtige karminrote Farbe aus.

Die Bildung des Rotkupfererzes in der Natur scheint entweder auf einer Verwitterung schwefelhaltiger Kupfererze, wie Kupferglanz Cu_2S, Kupferkies $Cu_2S \cdot Fe_2S_3$ u. a., oder auf einer Oxydation von gediegenem Kupfer zu beruhen. Man findet es deshalb einerseits in den oberen Teilen solcher Erzgänge, welche tiefer unten jene Kupfererze führen (so in Cornwall, bei Rheinbreitbach b. Honnef, bei Katherinenburg und Nischne Tagilsk am Ural u. s. w.), anderseits kommt es mit gediegenem Kupfer verwachsen vor; manchmal findet man beim Zerschlagen des Erzes darin noch einen Kern von gediegenem Kupfer (Cornwall, Ural, Australien). Oft sind aber auch umgekehrt Pseudomorphosen von gediegenem Kupfer nach Rotkupfererz beobachtet worden. Dieselben kann man leicht künstlich nachahmen, wenn man Rotkupfererzkrystalle in sehr verdünnte Schwefel- oder Salpetersäure legt. Dann bildet sich aus Cu_2O $CuSO_4$ oder $Cu(NO_3)_2$, welche Salze sich auflösen, während das zweite Atom Kupfer zurückbleibt, wodurch sich die Krystalle allmählich, von außen nach innen fortschreitend, in eine lockere Masse von metallischem Kupfer verwandeln. Andere sehr bekannte Pseudomorphosen nach Rotkupfererz sind die in grünen Malachit (kohlensaures Kupferoxyd) umgewandelten Krystalle, welche namentlich zu Chessy bei Lyon gefunden werden. Auch hier schreitet die Ver-

änderung von außen nach innen fort. Die ringsum ausgebildeten, im Thon liegenden Krystalle sind schön grün und faserig, bald durch und durch, bald steckt darin noch ein unveränderter Kern von Rotkupfererz. In dünngeschliffenen Platten kann man den Umwandlungsprozess unter dem Mikroskop genau verfolgen; die grünen Fasern des Malachits fressen sich allmählich in die dunklere, rote Masse des ursprünglichen Minerals ein.

XIV.

Tetartoedrie des regulären Systems. Salpetersaurer Baryt, chlorsaures Natron.

Außer der hemiedrischen Entwicklung regulärer Krystallformen ebt es noch eine andere, bei welcher nur ein Teil der vollzähligen ächen nach einem bestimmten Gesetze zur Ausbildung gelangt, imlich die tetartoedrische. Bei dieser aber bleibt nicht die älfte, sondern nur der vierte Teil der ursprünglich vorhandenen ächen zurück, wie auch die Bezeichnung tetartoedrisch (viertelichig) und Tetartoedrie (Viertelflächigkeit) andeutet.

Eine Tetartoedrie tritt im allgemeinen, so hier im regulären ystem, ein, wenn zwei Gesetze der Hemiedrie gleichzeitig errschen, wenn also der Ausfall der Flächen nach zwei Regeln gleich erfolgt. Nehmen wir z. B. an, es trete zu der pyritoedischen Hemiedrie noch die tetraedrische, so wird bei einer Krystallrm, welche durch jede derselben eine äußere Veränderung erleidet, nur $\frac{1}{4}$ der Flächen übrig bleiben können, während verschwinden. Nun werden aber, wie wir wissen, verändert:

a) durch die pyritoedrische Hemiedrie: Tetrakishexaeder und exakisoktaeder;

b) durch die tetraedrische Hemiedrie: Oktaeder, Pyramidentaeder, Ikositetraeder, Hexakisoktaeder.

Daraus geht hervor, dass bei der Tetartoedrie (dem gleichzeitigen errschen beider Hemiedrien) äußerlich ganz unverändert bleiben r Würfel und das Rhombendodekaeder, dass nur mit der Hälfte

der Flächen, also scheinbar hemiedrisch auftreten das Oktaeder (und zwar als Tetraeder), die Pyramidenoktaeder (als Deltoiddodekaeder), die Ikositetraeder (als Triakistetraeder) und die Tetrakishexaeder (als Pentagondodekaeder), während endlich nur die Hexakisoktaeder eine eigentliche tetartoedrische Ausbildung erlangen. Wir haben also nur diese letzteren Formen speziell ins Auge zu fassen.

Fig. 111 stellt ein Hexakisoktaeder dar, bei welchem die durch die pyritoedrische Hemiedrie fortfallenden Flächen von rechts oben nach links unten, die durch die tetraedrische Hemiedrie verschwindenden hingegen von links oben nach rechts unten schraffiert sind. Infolge dessen werden im Ganzen zwölf Flächen von beiden Hemiedrien zugleich betroffen, sind also gekreuzt schraffiert, während zwölf andere von beiden unberührt bleiben, demnach in der Figur weiß gelassen sind.

Ganz dasselbe Ergebnis würden wir übrigens erhalten, wenn wir anstatt der pyritoedrischen und tetraedrischen Hemiedrie eine derselben zusammen mit der plagiedrischen auf das Hexakisoktaeder anwendeten, wie man ersieht, wenn man Fig. 64 oder 79 mit Fig. 106 kombiniert.

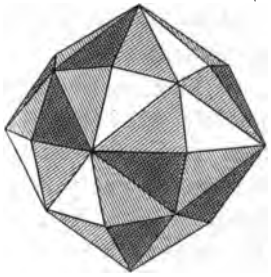


Fig. 111.

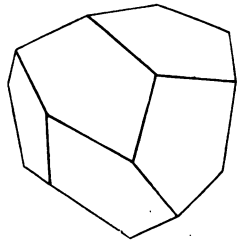


Fig. 112a.

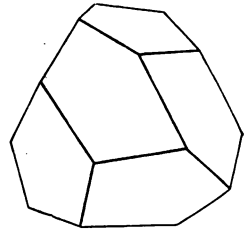


Fig. 112b.

Denkt man sich nun die in Fig. 111 weiß gelassenen Flächen stärker ausgedehnt, während alle übrigen verschwinden, so erhält man eine neue Form (Fig. 112a), welche man, an die gleichzeitige Wirkung zweier Hemiedrien erinnernd, als tetraedrisches Pentagondodekaeder bezeichnet hat. Besser ist wohl die andere Benennung reguläres Tetartoeder, deren auch wir uns bedienen wollen. Die schraffierten und mit den weißgelassenen in denselben Oktanten liegenden Flächen liefern ein zweites Tetartoeder

(Fig. 112b). Ein drittes würde aus den dunkel gehaltenen, ein viertes aus den mit denselben in gleichen Oktanten liegenden einfach schraffierten Flächen hervorgehen. Es fragt sich nun, in welcher Beziehung diese vier, aus derselben holoedrischen Form hervorgegangenen tetartoedrischen Formen zu einander stehen.

Die beiden ersten, in Fig. 112 wiedergegebenen Gestalten können durch keine Drehung in parallele Stellung oder zur Deckung gebracht werden, sie sind also (ebenso wie zwei zusammengehörige Pentagon-Ikositetraeder, Fig. 107) enantiomorph. Dasselbe gilt von dem dritten und vierten Tetartoeder. Anderseits unterscheidet sich aber das erste von dem dritten und das zweite von dem vierten nur durch seine Stellung; denn dreht man jedesmal eines davon um eine krystallographische Achse um 90°, so kommt es mit dem anderen genau zur Deckung. Indem man nun von den beiden in Fig. 111 vorn oben liegenden Oktanten den rechts gelegenen als positiven und den links gelegenen als negativen bezeichnet und ferner beachtet, ob sich von den zwei in jedem dieser Oktanten oben befindlichen Flächen die rechte oder die linke an der Bildung eines Tetartoeders beteiligt, erhält man folgende Benennungen für die vier zusammengehörigen Formen. Man bezeichnet das erste Tetartoeder (Fig. 112a) als positives rechtes und giebt ihm das allgemeine Symbol $+\frac{mOn}{4}r$, das zweite (Fig. 112b) als positives linkes $+\frac{mOn}{4}l$, das dritte (aus den dunklen Flächen hervorgegangene) als negatives rechtes $-\frac{mOn}{4}r$, und das vierte als negatives linkes $-\frac{mOn}{4}l$. Die Flächen dieser Formen sind unsymmetrische Fünfecke; je drei zu demselben Oktanten gehörige bilden eine drei- und gleichkantige Ecke. Die Tetartoeder besitzen, wie alle enantiomorphen Formen, keine Symmetrieebene. Dies ergiebt sich auch schon aus dem gleichzeitigen Herrschen zweier Hemiedrien.

Wenn es sich darum handelt, zu entscheiden, ob eine Substanz regulär tetartoedrisch krystalliere, so wird man natürlich zunächst die Krystalle auf das Vorhandensein der Flächen eines Tetartoeders prüfen. Doch treten solche Flächen an den hierhin gehörigen Substanzen im allgemeinen selten auf. Es giebt nun noch ein zweites

Zeichen, an welchem man erkennen kann, ob die betreffenden Krystalle tetartoedrisch sind oder nicht. Wie wir oben sahen, zerfällt das Oktaeder unter der Einwirkung der tetartoedrischen Flächenentwicklung in die beiden Tetraeder, ein Pyramidenwürfel in zwei Pentagondodekaeder. Sind nun an einem Krystalle die Flächen des Oktaeders hemiedrisch, diejenigen eines Pyramidenwürfels aber holoedrisch entwickelt, so folgt derselbe der tetraedrischen Hemiedrie. Ist es umgekehrt, so herrscht an dem Krystalle die pyritoedrische Hemiedrie. Findet man aber, dass das Oktaeder als Tetraeder und ein Pyramidenwürfel an demselben Krystalle als Pentagondodekaeder auftritt, so ist der Krystall nicht hemiedrisch, sondern tetartoedrisch. Tetraedrische und pyritoedrische Formen in Kombination charakterisieren stets einen Krystall als einen tetartoedrischen. Als Beispiele der regulären Tetartoedrie besprechen wir den salpetersauren Baryt und das chlorsaure Natron.

1. Der **salpetersaure Baryt** $Ba(NO_3)_2$, der nur ganz vereinzelt als Mineral gefunden wurde, ist ein farbloses Salz, welches aus wässriger Lösung leicht in Krystallen erhalten werden kann. Diese Krystalle zeigen in der Regel die Flächen des Würfels, kombiniert mit denjenigen des Oktaeders. Das letztere zerfällt aber in die beiden Tetraeder, wie man in der Regel daran erkennt, dass vier seiner Flächen, zu dem einen Tetraeder gehörig, stärker ausgedehnt sind, wie die übrigen, welche dem andern Tetraeder angehören. Manchmal bemerkt man auch einen Unterschied im Glanz der Flächen beider Tetraeder. Hierzu treten nun sehr häufig die Flächen des Pentagondodekaeders $\frac{\infty O 2}{2}$, und auf den Würfelflächen erscheinen eigentümliche streifenähnliche Unebenheiten, welche weder zu den Seiten noch zu den Diagonalen der genannten Flächen symmetrisch liegen, demnach gleichfalls der Tetartoedrie entsprechen. Auch die Ätzfiguren auf $\infty O \infty$ sind unsymmetrisch nach Gestalt und Lage. Man wäre nun im stande, falls gar keine anderen als die erwähnten Formen an den Krystallen vorkämen, schon hieraus allein das Vorhandensein der Tetartoedrie zu erkennen. Indes erhält man zuweilen schon aus der rein wässrigen, besonders jedoch aus einer mit salpetersaurem Natron, salpetersaurem Kali und Zucker versetzten Lösung Krystalle, an welchen noch ein Triakistetraeder, ein Deltoiddodekaeder und ein Tetartoeder auftreten. Beistehende

Figuren 113—115 zeigen einige Kombinationen. Fig. 113 weist vorherrschend die Flächen des Würfels (h), ferner die des hier stärker ausgedehnten Gegentetraeders $-\frac{O}{2}$ (o,) und des Haupttetraeders $+\frac{O}{2}$ (o) auf. Hierzu treten noch die Flächen des Pyritoeders $\frac{\infty O 2}{2}$ (p).

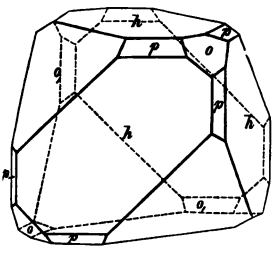


Fig. 113.

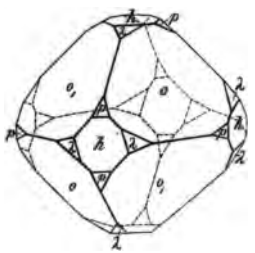


Fig. 114.

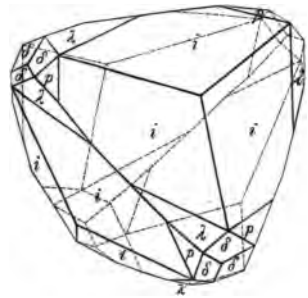


Fig. 115.

Die Kombination Fig. 114 zeigt außer dem untergeordneten Würfel, den beiden vorherrschenden und fast gleich stark entwickelten Tetraedern sowie dem Pyritoeder kleine Flächen eines linken positiven Tetartoeders $\lambda = +\frac{4\,O\,2}{4}\,l$. Ganz abweichend hiervon sehen wir in Fig. 115 vorherrschend ein Triakistetraeder $i = +\frac{2\,O\,2}{2}$, zu welchem untergeordnet das negative Deltoiddodekaeder $\delta = -\frac{2\,O}{2}$, das Tetartoeder λ und das Pyritoeder p hinzutreten.

Mit dem salpetersauren Baryt $Ba(NO_3)_2$ sind durch Isomorphismus verbunden die beiden Salze salpetersaurer Strontian $Sr(NO_3)_2$ und salpetersaures Bleioxyd $Pb(NO_3)_2$. Auch ihre Krystalle gehorchen der regulären Tetartoedrie.

2. Das **chlorsaure Natron** $NaClO_3$ wird gleichfalls aus wässriger Lösung sehr leicht in gut ausgebildeten Krystallen erhalten. Dieselben sind nicht sehr flächenreich; man beobachtet daran vor-

herrschend den Würfel oder ein Tetraeder, untergeordnet das Rhombendodekaeder, das Pyritoeder und zuweilen das zweite Tetraeder. Tetartoederflächen wurden bisher noch nicht gefunden. Dennoch verdienen die Krystalle dieses Salzes unser besonderes Interesse. Bei genauerer Untersuchung bemerkt man nämlich, dass sie zweierlei Art sind, wie es Fig. 116a und b zeigt. Daselbst sehen wir vorherrschend den Würfel h, untergeordnet das Pyritoeder p, das Rhombendodekaeder d und das hier als negatives aufgefasste Tetraeder $-o$ (das positive Tetraeder fehlt). Nun gehören aber die Flächen p in Fig. 116a dem Pyritoeder in derjenigen Stellung an, welche Fig. 67a wiedergiebt, in Fig. 116b hingegen demjenigen der anderen Stellung Fig. 67b. Die vordere längere Kante des Pyritoeders würde im ersten Falle horizontal, im zweiten vertikal verlaufen. Wäre das Oktaeder in beiden Fällen holoedrisch (nicht als Tetraeder) ausgebildet, so würde man die beiden Krystalle durch eine Drehung um 90° um eine Achse in genau parallele Stellung bringen können.

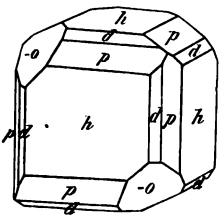


Fig. 116a.

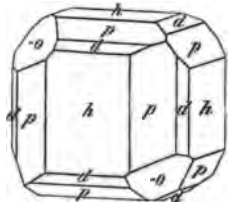


Fig. 116b.

Da aber das Oktaeder in die beiden ungleichen Tetraeder zerfällt, wovon hier jedesmal nur das eine (negative) vorhanden ist, so können die beiden Kombinationen durch keine Drehung in parallele Stellung gebracht werden, sie sind enantiomorph. Die durch die Tetartoedrie bedingte Enantiomorphie kommt also hier schon zur Erscheinung, ohne dass die Flächen eines Tetartoeders vorhanden sind. Man bezeichnet die Krystalle der einen Art (Fig. 116a) als rechte, die der anderen (Fig. 116b) als linke. Beide unterscheiden sich auch in ihrem optischen Verhalten wesentlich von einander, wie wir später im XXII. Kapitel sehen werden. Sie sind symmetrisch zu einander nach einer Würfelfläche. Denkt man sich den Krystall Fig. 116b um 90° um die vertikale Achse gedreht, so verhält er

sich zu dem anderen Fig. 116a wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbilde, wobei die spiegelnde Ebene den beiden Würfelflächen parallel geht, welche die Krystalle einander zuwenden. In dieser Stellung verwachsen auch zuweilen zwei Krystalle zu einem Zwilling. Bemerkenswert ist noch die Thatsache, dass eine wässrige Lösung von Krystallen der einen Art beim Verdunsten wieder beiderlei Krystalle liefert.

XV.

Das quadratische Krystallsystem. Holoedrische Formen.

Die Formen des quadratischen Systems werden auf drei auf einander senkrechte Achsen zurückgeführt, von welchen zwei unter sich gleichlang und gleichwertig sind, die dritte aber davon verschieden ist und länger oder kürzer sein kann. Diese letztere Achse ist also einzig in ihrer Art; sie wird Hauptachse genannt und mit c bezeichnet, während man die beiden anderen Achsen die Nebenachsen (a, a) nennt. Die Länge der Hauptachse im Verhältnis zu derjenigen der Nebenachsen ist bei den verschiedenen im quadratischen System krystallisierenden Substanzen sehr ungleich. Für jede derartige Substanz ist aber dieses Verhältnis, das sogen. Achsenverhältnis $c : a$, ein bestimmtes. Von demselben hängen auch die Winkel aller Krystallformen ab, deren Flächen alle drei Achsen oder die Hauptachse und eine Nebenachse schneiden. Bei der Angabe des Achsenverhältnisses setzt man stets die Länge der Nebenachse $= 1$, demnach ist $c \gtrless$ (größer oder kleiner als) 1. Für den Vesuvian ist z. B. das Achsenverhältnis $c : a = 0{,}5372 : 1$, für den Apophyllit $= 1{,}2515 : 1$ (die Länge der Hauptachse ist nur auf vier Dezimalen berechnet). Das Verhältnis $c : a$ ist stets irrational, d. h. es lässt sich weder durch eine ganze, noch durch eine gebrochene Zahl absolut genau ausdrücken, wohl aber durch Vermehrung der Dezimalstellen bis zu einem beliebigen Grade der Genauigkeit berechnen.

Während die einzelnen Formen des regulären Systems ohne Ausnahme den Raum vollständig umschließen, ist dies im quadratischen System nicht mehr der Fall. Die Formen desselben zerfallen vielmehr in geschlossene und offene. Eine geschlossene ist z. B. die in Fig. 9 *B* (S. 20) dargestellte quadratische Pyramide.

ie offenen Formen begrenzen den Raum nicht allseitig, sie können eshalb an einem Krystalle auch nie für sich allein, sondern nur ı Kombination mit anderen Formen auftreten, wodurch erst der rystall nach allen Seiten begrenzt wird. Dass es solche offene ormen im quadratischen System geben kann, liegt daran, dass die auptachse sich wesentlich von den beiden gleichwertigen Neben- hsen unterscheidet. Die beiden Flächen z. B., welche die Haupt- hse schneiden, den Nebenachsen aber parallel gehen und sich ıch an diesen (wegen deren Verschiedenheit von der Hauptachse) icht in entsprechender Weise wiederholen, müssen natürlich eine fene Form bilden (Fig. 117 *A*). Dasselbe gilt umgekehrt von solchen lächen, welche zwar eine oder beide Nebenachsen schneiden, der auptachse aber parallel gehen (z. B. Fig. 117 *B*). Geschlossene Fornen können demnach in diesem System nur von solchen Flächen

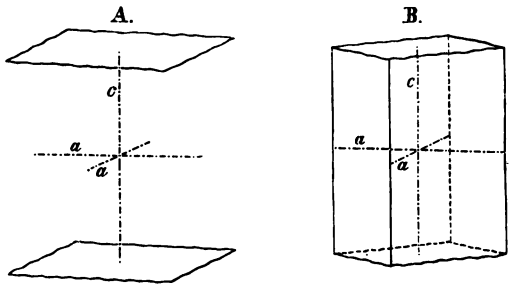


Fig. 117.

ebildet werden, welche alle drei Achsen oder die Hauptachse und ne Nebenachse schneiden.

Wohl aber wird eine Kombination der beiden in Fig. 117 *A* . *B* dargestellten offenen Formen den Raum allseitig umschließen, emnach auch als wirkliche Krystallform auftreten können.

Man stellt die Formen des quadratischen Systems in der Regel) auf, dass die Hauptachse vertikal steht, im übrigen wie es beim gulären System (S. 77) angegeben wurde. Wir beginnen mit den eschlossenen Formen. Es giebt deren drei Arten:

1. Quadratische Pyramiden erster Art oder Protopyramiden,
2. Quadratische Pyramiden zweiter Art oder Deuteropyramiden,
3. Achtseitige Pyramiden.

1. Die quadratischen Pyramiden erster Art (Fig. 118 *A*—*C*) werden von acht gleichschenkligen Dreiecken umschlossen. Sie besitzen vier gleiche, die Nebenachsen verbindende Randkanten und acht gleiche, eine Nebenachse mit der Hauptachse verbindende Polkanten. Je spitzer die Pyramide ist, um so größer ist der Winkel der Randkanten; je stumpfer sie ist, um so grösser der Winkel der Polkanten. Man bezeichnet zweckmäßig als spitze Pyramiden solche, deren Randkantenwinkel größer ist als der Winkel der Oktaederkanten (109° 28′), als stumpfe hingegen solche, bei welchen jener Winkel kleiner ist. Die Polkanten der Protopyramiden bilden zwei vier- und gleichkantige Polecken, je zwei Randkanten mit zwei Polkanten vier Randecken. Die quadratischen Protopyramiden besitzen, wie alle holoedrischen Formen dieses Systems, fünf Symmetrieebenen, nämlich eine Haupt-Symmetrieebene, welche durch die beiden Nebenachsen geht, zwei sogen. primäre Hauptschnitte, welche durch die Hauptachse und eine Nebenachse gehen, und zwei sekundäre, welche durch die Hauptachse gehen und den Winkel der beiden Nebenachsen halbieren.

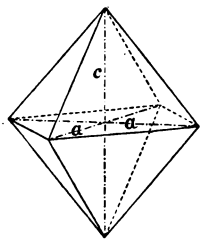


Fig. 118 A.

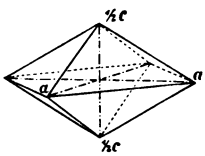


Fig. 118 C.

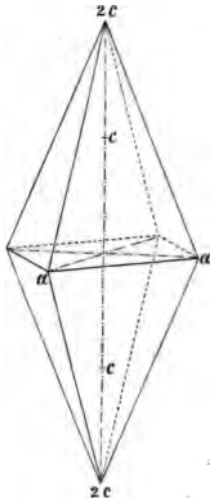


Fig. 118 B.

Die Flächen der Pyramiden erster Art schneiden die beiden Nebenachsen stets in gleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte. Doch kann an jeder quadratisch krystallisierenden Substanz eine ganze Reihe verschiedener Protopyramiden auftreten, deren Flächen die Hauptachse in verschiedener Entfernung vom Achsenmittelpunkte treffen. Man wählt eine derselben zur Grundform und bestimmt für dieselbe das Achsenverhältnis $c : a = c : 1$. Dann findet man, dass bei den anderen Protopyramiden, dem Gesetze der rationalen Achsenschnitte entsprechend, die Länge der Hauptachse zu der für

die Grundform gefundenen stets in einem durch einfache ganze oder gebrochene Zahlen ausdrückbaren Verhältnisse steht. Ist demnach das krystallographische Zeichen für die Grundform $a : a : c$ oder kurz P, so ist es für eine andere Protopyramide, deren Flächen die Hauptachse in der $m$fachen Entfernung schneiden, $a : a : mc$ oder mP. Der vor P stehende Koeffizient bezieht sich also immer auf die Hauptachse. Stellt z. B. Fig. 118 *A* eine zur Grundform gewählte Protopyramide dar, so haben wir in Fig. 118 *B* eine zweite, deren Hauptachse sich zu derjenigen der Grundform verhält wie 2 : 1, die also das Zeichen $2P$ erhalten muss. Fig. 118 *C* zeigt eine dritte Protopyramide, deren Hauptachse im Vergleich zur Grundform gleich $\frac{1}{2}c$ ist, deren Symbol demnach $\frac{1}{2}P$ sein wird.

2. Die quadratischen Pyramiden zweiter Art oder die Deuteropyramiden (Fig. 119) werden gleichfalls von acht gleichschenkligen Dreiecken umschlossen, doch schneidet jede Fläche derselben nicht alle drei Achsen, sondern nur die Hauptachse und eine Nebenachse, während sie der anderen Nebenachse parallel geht.

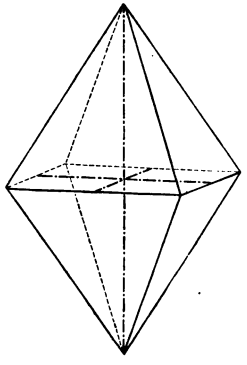


Fig. 119.

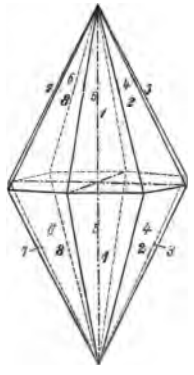


Fig. 120.

Die Deuteropyramiden sind deshalb, verglichen mit den Protopyramiden, gleichsam um 45° um die Hauptachse gedreht, weshalb die Nebenachsen die Mittelpunkte ihrer Randkanten verbinden. Sie besitzen gleichfalls vier Rand- und acht Polkanten, sowie vier Rand- und zwei Polecken. Nach der Lage ihrer Flächen erhalten die Deuteropyramiden das allgemeine Symbol $a : \infty a : mc$ oder $mP\infty$ (∞ hinter P bezieht sich auf eine Nebenachse); am häufigsten beobachtet man $P\infty$ und $2P\infty$.

3. Die achtseitigen Pyramiden (Fig. 120, S. 161) werden umschlossen von 16 ungleichseitigen Dreiecken. Sie stellen den allgemeinsten Fall einer quadratischen Form dar, da ihre Flächen alle drei Achsen, und zwar die beiden Nebenachsen in ungleicher Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneiden. Dieser Flächenlage entspricht das Symbol $a:na:mc$ oder mPn, wobei sich also der Koeffizient m auf die Hauptachse, der Koeffizient n (> 1) auf eine Nebenachse bezieht. Von den 16 Polkanten liegen acht, welche gewöhnlich länger und schärfer sind, in den primären Hauptschnitten (z. B. die in Fig. 120 von zwei Flächen 1 und 8 gebildeten), die anderen acht, welche dann kürzer und stumpfer sind, in den sekundären Hauptschnitten (z. B. die von zwei Flächen 1 und 2 gebildeten). Die acht Randkanten sind gleich und liegen in der Haupt-Symmetrieebene. Neben zwei achtflächigen vier- und vierkantigen, d. h. von zweimal vier gleichen Kanten gebildeten Polecken finden sich vier spitzere und vier stumpfere vierflächige Randecken. Die achtseitigen Pyramiden treten an den Krystallen meist nur untergeordnet auf. Häufig vorkommende sind z. B. $3P3$ und $3P\frac{3}{2}$.

Die offenen Formen des quadratischen Systems sind folgende:

1. Das quadratische Prisma erster Art oder Protoprisma,
2. Das quadratische Prisma zweiter Art oder Deuteroprisma,
3. Achtseitige Prismen,
4. Die Basis.

Alle diese Formen stehen in einer sehr einfachen Beziehung zu den schon beschriebenen geschlossenen; sie gehen aus den letzteren gleichsam dadurch hervor, dass die auf die Hauptachse bezüglichen Koeffizienten derselben entweder $= \infty$ oder $= 0$ werden. Die Flächen des Protoprismas, Deuteroprismas und der achtseitigen Prismen schneiden die Hauptachse erst in unendlicher Entfernung, d. h. sie gehen derselben parallel, die beiden parallelen Flächen der Basis (s. Fig. 117 *A*) hingegen schneiden die Hauptachse und stehen darauf senkrecht, gehen aber den Nebenachsen parallel. Sie geben also den Prismen, falls sie damit kombiniert auftreten, den fehlenden Abschluss nach den Polen hin; eine solche Kombination ist ringsum geschlossen.

Die Basis kann als eine Protopyramide betrachtet werden, bei welcher die Hauptachse unendlich klein oder der auf dieselbe bezügliche Koeffizient $m = 0$ geworden ist. In diesem Falle werden

die vier oberen und ebenso die vier unteren Pyramidenflächen in eine zur Hauptachse senkrechte Ebene fallen. Demnach ist das krystallographische Zeichen für die Basis $0P$.

Das Protoprisma ist umgekehrt als eine Protopyramide mit unendlich langer Hauptachse aufzufassen, es erhält demnach das Symbol ∞P. Je zwei über einander liegende Polkanten der Pyramide fallen zu einer, der Hauptachse parallelen Kante zusammen; solcher Kanten besitzt das Protoprisma demnach vier. Der Kantenwinkel beträgt 90°. Fig. 121 stellt das Protoprisma in Kombination mit der Basis dar.

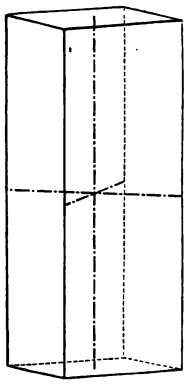


Fig. 121.

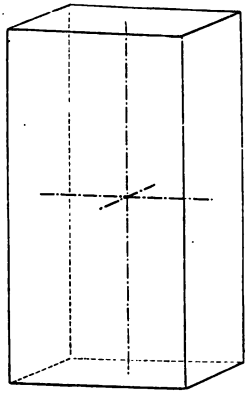


Fig. 122.

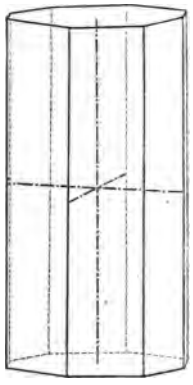


Fig. 123.

Ganz ähnlich wie aus den Protopyramiden das Protoprisma, erhält man aus den Deuteropyramiden das Deuteroprisma, wenn dabei die Hauptachse unendlich lang wird. Das Zeichen ist demnach $\infty P\infty$; die vier sich unter rechten Winkeln schneidenden Flächen gehen der Hauptachse und je einer Nebenachse parallel. In Fig. 122 ist das Deuteroprisma gleichfalls durch die Basis geschlossen.

Während es naturgemäß nur ein Proto- und ein Deuteroprisma geben kann, sind verschiedene achtseitige Prismen möglich. Jede achtseitige Pyramide mPn geht in ein solches über, wenn $m = \infty$ wird, und jeder für n mögliche Wert liefert ein besonderes Prisma. Fig. 123 stellt ein solches (in Kombination mit der Basis) dar. Aus einem Vergleich mit der achtseitigen Pyramide (Fig. 120) ergiebt sich, dass die (zur Hauptachse parallelen)

Kanten zweierlei Art sein müssen; je vier in den primären resp. sekundären Hauptschnitten liegende sind einander gleich. Die Basis hat in der Kombination mit einem achtseitigen Prisma die Gestalt eines Achtecks mit abwechselnd gleichen Winkeln. Der Fall, dass alle Winkel gleich, das Achteck also ein reguläres sei, kann nicht eintreten, weil dann $n = 2{,}414\cdots$, also eine irrationale

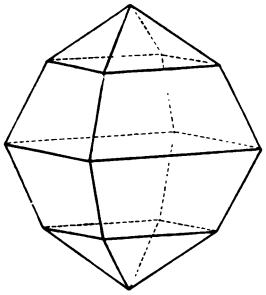


Fig. 124.

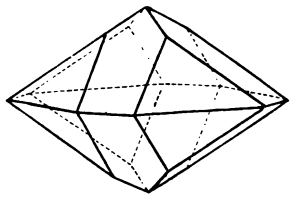


Fig. 125.

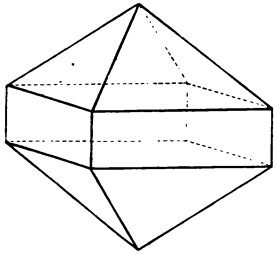


Fig. 126.

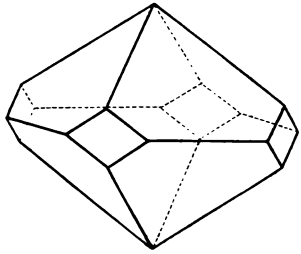


Fig. 127.

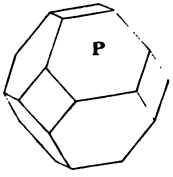


Fig. 128.

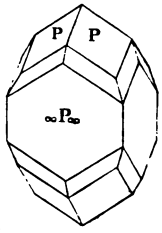


Fig. 129.

Zahl sein müsste, was dem Gesetz der rationalen Achsenschnitte widersprechen würde. Ein achtseitiges Prisma mit lauter gleichen Kanten und ebenso eine achtseitige Pyramide mit lauter gleichen Polkanten sind demnach als Krystallformen nicht möglich. Das Zeichen für die achtseitigen Prismen ist nach dem Gesagten $\infty P n$: man beobachtet z. B. $\infty P 3$, $\infty P \frac{3}{2}$.

Es wurde schon bemerkt, dass die achtseitigen Pyramiden den

allgemeinsten Fall einer quadratischen Form darstellen. Von ihnen kann man deshalb die anderen besprochenen Formen ableiten. Wird in ihrem Symbol mPn der Koeffizient $n=1$, so gelangt man zu den Protopyramiden mP; wird $n=\infty$, so erhält man die Deuteropyramiden $mP\infty$. Wird anderseits für die achtseitigen resp. für die daraus hervorgegangenen Proto- und Deuteropyramiden $m=\infty$, so gehen dieselben in die achtseitigen Prismen ∞Pn, resp. in das Protoprisma ∞P und das Deuteroprisma $\infty P\infty$ über. Wird endlich $m=0$ und $n=1$, so resultiert die Basis $0P$.

Nachdem wir die einzelnen holoedrischen quadratischen Formen kennen gelernt, müssen wir noch in Kürze einige einfachere Kombinationen derselben betrachten. Wir gehen dabei am besten von einer Protopyramide aus und sehen zu, welche Veränderungen sie durch das Hinzutreten anderer Formen erfährt. Fig. 124 stellt eine solche Pyramide dar, deren Polecken durch eine stumpfere Protopyramide vierflächig mit horizontal verlaufenden Kombinationskanten zugespitzt sind. In Fig. 125 erscheinen die Polkanten einer Protopyramide durch die Flächen einer Deuteropyramide gerade abgestumpft, und zwar steht die letztere zu der Protopyramide in der Beziehung, dass sie das Zeichen $P\infty$ erhält, wenn die andere die Grundform P darstellt. Die Randkanten sämtlicher Protopyramiden werden durch die Flächen des Protoprismas gerade abgestumpft (Fig. 126), die Randecken hingegen durch die Flächen des Deuteroprismas (Fig. 127). Endlich haben wir in Fig. 128 die Kombination einer Protopyramide P mit dem Deuteroprisma und der ihre Polecken gerade abstumpfenden Basis, sowie in Fig. 129 das Deuteroprisma mit der Grundform P und einer die Kombinationskanten beider abstumpfenden achtseitigen Pyramide, welcher das Zeichen $3P3$ zukommt.

XVI.

Vesuvian, Apophyllit, Anatas, Rutil, Zinnstein.

1. **Vesuvian.** Dieses schöne Mineral, welches in glänzenden verschiedenartig gefärbten, namentlich gelben, grünen und braunen, oft durchsichtigen Krystallen auftritt, bildet das ausgezeichnetste Beispiel einer holoedrischen quadratischen Formentwicklung. Man kennt an demselben schon über 50 verschiedene Formen. Gewöhnlich sind die Krystalle säulenförmig, selten durch Vorherrschen der Basis tafelartig, noch seltener pyramidal.

Zu den fast nie fehlenden Flächen des Protoprismas (in den Figuren mit d bezeichnet), des Deuteroprismas M und der Basis p tritt gewöhnlich die Grundpyramide c. Letztere ist ziemlich stumpf; ihr Randkantenwinkel beträgt etwa $74\frac{1}{2}^{\circ}$, das Achsenverhältnis $c : a = 0{,}537 : 1$. In Fig. 130, welche die genannten Formen zeigt, sind die Polkanten der Pyramide durch die Flächen der Deuteropyramide $o = P\infty$ gerade abgestumpft. Die Flächen der Vesuviankrystalle sind oft eigentümlich gestreift oder gezeichnet. Wir haben schon im ersten Kapitel einen solchen Krystall erwähnt und in Fig. 3 abgebildet. Die Flächen des Protoprismas sind meist stark vertikal, also parallel der Hauptachse gestreift, und auf der Basis erscheint oft eine Zeichnung in Form kleiner Quadrate. Weit ebener als die Flächen des Protoprismas sind diejenigen des Deuteroprismas. Häufig sind die Kombinationskanten beider durch ein achtseitiges Prisma $f = \infty P2$ (Fig. 131), seltener durch $h = \infty P3$ (Fig. 132) abgestumpft, so dass die Zone der Prismen (Säulenzone) aus 16 Flächen besteht. Kommt hierzu eine starke vertikale Streifung, so erscheinen die Krystalle nicht selten förmlich cylindrisch. Die Kombination

Fig. 132 ist schon achtzählig, sie besteht aus drei Prismen, der Basis, zwei Proto- und einer Deuteropyramide, sowie aus einer achtseitigen Pyramide. Zwischen c und d erscheint die spitzere Pyramide $t = 3\,P$, sie schneidet natürlich c und d in parallelen Kanten, bildet damit eine Zone. Anderseits werden die sechzehn Kanten $c : M$ durch die Flächen der achtseitigen Pyramide $s = 3\,P\,3$ abgestumpft, deren Kombinationskante mit h mit der Kante $M : h$ einen

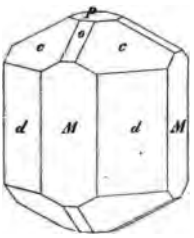


Fig. 130.

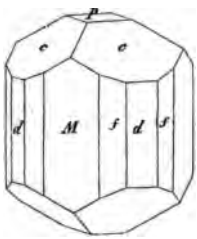


Fig. 131.

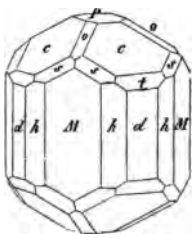


Fig. 132.

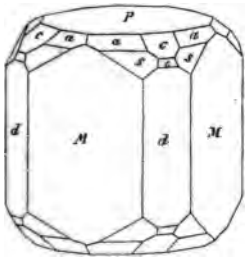


Fig. 133.

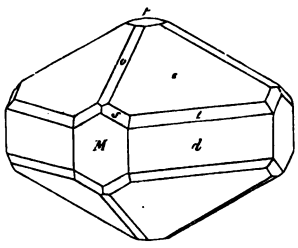


Fig. 134.

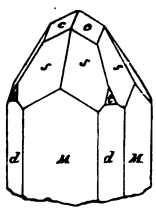


Fig. 135.

rechten Winkel bildet. Letzteres hängt damit zusammen, dass sowohl die Flächen h wie s die zweite Nebenachse in gleicher dreifacher Entfernung vom Achsenmittelpunkt schneiden. Man kann dies auch so ausdrücken, dass man sagt: die Randkanten der achtseitigen Pyramide $3\,P\,3$ werden durch die Flächen des achtseitigen Prismas $\infty\,P\,3$ gerade abgestumpft. — Die bisher beschriebenen Kombinationen beobachtet man z. B. an den Krystallen vom Vesuv.

Eine andere Kombination von der Mussa-Alpe im Alathal (Piemont) zeigt Fig. 133. Dieselbe unterscheidet sich von der vorigen zunächst durch das Fehlen von h und o, dann durch die stärkere Ausdehnung der Basis und das Hinzutreten einer zweiten acht-

seitigen Pyramide *a*. Dieselbe stumpft die Kombinationskanten der anderen achtseitigen Pyramide *s* zur Basis ab; *s*, *a* und *P* liegen in einer Zone. Da nun die Kombinationskanten einer achtseitigen Pyramide und der Basis dieselbe Richtung wie die Randkanten der Pyramide besitzen, so folgt aus dem Gesagten, dass die Randkanten der beiden Pyramiden *a* und *s* parallel laufen müssen, dass also die Flächen beider Formen die Nebenachse im nämlichen Verhältnisse schneiden. Anderseits sieht man, dass *a* stumpfer sein muss, als *s*; der auf die Hauptachse bezügliche Koeffizient ist bei *a* nur halb so groß wie bei *s*. Während das Symbol für *s* gleich 3 *P*3 ist, erhält *a* das Zeichen $\frac{3}{2}$ *P*3.

Im Gegensatz zu Fig. 133 besitzt die in Fig. 134 wiedergegebene Kombination (vom Monzoniberge in Tirol) einen pyramidalen Habitus. Mit Ausnahme von *h* erscheinen an ihr dieselben Flächen wie in Fig. 132. Doch treten die Prismenflächen mehr zurück, wodurch die Pyramide *c* herrschend wird. Zuweilen erscheint an dem genannten Fundorte die Grundpyramide ganz vorwaltend. Fehlt die Basis nebst *P*∞, und dehnt sich die achtseitige Pyramide *s* stark aus, so erhält man die in Fig. 135 abgebildete Kombination, welche an Krystallen von Poläkowsk am Ural beobachtet wurde. Ganz ähnliche Krystalle mit sehr vorwaltender Pyramide 3 *P*3 finden sich auch im Saasthal und an der Mussa-Alpe. — Zwillingskrystalle von Vesuvian sind nicht bekannt. Die Vesuviankrystalle sind nur unvollkommen spaltbar, am deutlichsten nach ∞ *P*∞; ihre Härte ist gleich 6,5, ihr spez. Gew. = 3,3—3,5. Ihre chemische Zusammensetzung ist sehr kompliziert und bei den verschiedenen Vorkommen schwankend. Im wesentlichen bestehen sie aus kieselsaurer Thonerde und kieselsaurem Kalk, doch findet sich darin neben Thonerde Eisenoxyd, und neben Kalk Magnesia, sowie geringe Mengen von Kali und Natron. Endlich enthält ihre Substanz noch 2 bis 3 Prozente Wasser, welches erst in starker Glühhitze entweicht. Da es nicht möglich ist, die Zusammensetzung durch eine verhältnismäßig einfache Formel auszudrücken, so sehen wir von der Angabe einer solchen ab.

Sehr schön krystallisierter honiggelber bis schwarzbrauner Vesuvian findet sich in den Kalkblöcken der Somma am Vesuv, wo er von Granat, Augit, Hornblende und anderen Mineralien begleitet wird. An anderen Orten, wie bei Ala in Piemont, Zermatt in der Schweiz, Achmatowsk im Ural kommt derselbe auf Spalten in schie-

ferigen Gesteinen, wie im Serpentin, vor. Grüne Vesuviankrystalle von der Mussa-Alpe bei Ala werden als Edelsteine verschliffen. Eine dritte Art des Vorkommens ist dasjenige im Kalkstein, und zwar dort, wo letzterer mit anderen krystallinischen Gesteinen, wie Granit, zusammentrifft. Mineralien, welche an solchen Stellen sich finden und Produkte der chemischen Einwirkung sind, welche die bei hoher Temperatur, resp. im geschmolzenen Zustande sich berührenden Gesteine auf einander ausüben, bezeichnet man als Kontaktmineralien. So finden sich gelbe bis braune Vesuviane mit Granat etc. im Kalkspat oder Kalkstein am Monzoniberge im Fassathal, bei Eger in Böhmen, bei Auerbach an der Bergstraße u. s. w.

2. Der **Apophyllit** liefert ein zweites schönes Beispiel für das quadratische System. Er besteht aus wasserhaltigem kieselsaurem Kalk, häufig enthält er noch Fluorkalium. Der Name Apophyllit (von ἀποφυλλίζειν, abblättern) deutet auf seine sehr vollkommene Spaltbarkeit nach der Basis hin, durch welche es möglich ist, von seinen Krystallen sehr dünne Blättchen abzutrennen. Diese auffallende Spaltbarkeit ist auch die Ursache des auf der Basis wahrnehmbaren lebhaften Perlmutterglanzes, welchem unser Mineral einen anderen, weniger üblichen Namen, Ichthyophthalm (Fischauge), verdankt. Die oft ziemlich großen Krystalle sind entweder pyramidal mit vorherrschender Pyramide P, oder säulenförmig mit vorherrschendem Prisma $\infty P\infty$, oder endlich tafelförmig durch Vorwalten der Basis. Während das Protoprisma ∞P stets fehlt, stellen sich zuweilen die Flächen eines achtseitigen Prismas $\infty P2$ ein. Andere Formen sind selten. Zwillinge findet man beim Apophyllit ebenso wenig wie beim Vesuvian. Prächtig sind die farblosen bis rosenroten klaren Krystalle von Andreasberg, welche daselbst auf Erzgängen vorkommen. Eine Gruppe solcher Krystalle von licht rosenroter Farbe stellt Fig. 136 dar. Dieselben zeigen die Kombination $P \cdot \infty P\infty \cdot 0P$, und man bemerkt an ihnen eine Streifung oder Zeichnung der Flächen P und

Fig. 136.

$\infty P \infty$, wie sie beim Apophyllit ganz gewöhnlich und charakteristisch ist. Nicht selten sieht man auch Sprünge parallel der Basis, welche auf die leichte Spaltbarkeit nach dieser Fläche hindeuten.

Schöne Krystalle finden sich ferner in den Hohlräumen eruptiver Gesteine, so auf der Seiseralp (Tirol), auf Island, den Faröern, bei Poonah in Ostindien. Von der Seiseralp kommen große tafelartige Krystalle der Kombination $0P \cdot \infty P \infty \cdot P$, von Poonah ebenfalls große, ungleichmäßig rot gefärbte von würfelähnlicher Gestalt, an welchen $0P$ und $\infty P \infty$ etwa gleich stark ausgedehnt erscheinen, während die Ecken durch die untergeordnete Pyramide P abgestumpft sind.

Die Härte des Apophyllits ist, wie überhaupt bei den wasserhaltigen Silikaten (kieselsauren Salzen) verhältnismäßig gering; sie liegt zwischen 4 und 5. Das spezifische Gewicht beträgt 2,35. Von Salzsäure wird das Mineral unter Abscheidung gallertartiger Kieselsäure zerlegt. Interessant ist folgender Versuch von Wöhler, welcher zeigt, wie durch Erhöhung der Temperatur unter gleichzeitig wirkendem starkem Druck die Löslichkeit einer Substanz erhöht wird. Der genannte Chemiker erhitzte gepulverten Apophyllit mit Wasser unter einem Drucke von 10—12 Atmosphären auf 180°—190°. Dabei löste sich das gepulverte Mineral im Wasser auf, während sich umgekehrt beim Erkalten aus der Lösung wieder Apophyllitkrystalle absetzten.

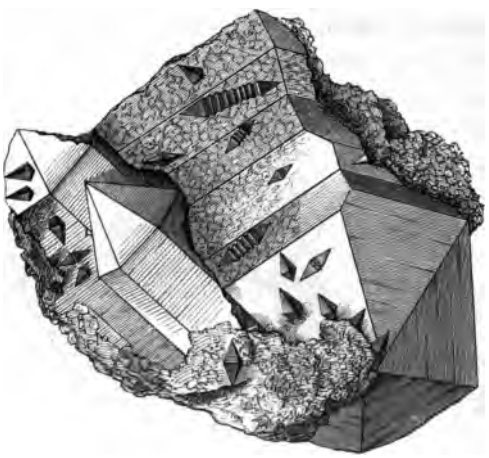


Fig. 137.

3. Der **Anatas** besitzt eine sehr einfache chemische Zusammensetzung, da er nur aus Titansäure-Anhydrid TiO_2 besteht. Seine Krystalle sind meist klein, dabei jedoch zierlich und vollkommen gebildet. Ihre Gestalt kann sehr einfach sein, indes giebt es auch flächenreiche Anatase. Man beobachtete an denselben bisher schon etwa vierzig verschiedene Krystallformen.

Meist herrscht die spitze Grundpyramide *P*, deren Randkantenwinkel etwa 136½° beträgt. Nicht zu verkennen sind die kleinen schwarzen Krystalle aus den Alpen, wie sie Fig. 137 darstellt. Dieselben sitzen auf Bergkrystall (s. Quarz), sind auch wohl in denselben eingesenkt oder davon umschlossen. Dünne Splitter derselben scheinen mit blauer Farbe durch. Sie besitzen metallähnlichen Glanz, welcher manchmal dem Diamantglanz nahe kommt.

In Fig. 137, welche eine Stufe von Tawetsch wiedergiebt, sehen wir neben einfachen Pyramiden solche, die nach der Hauptachse treppenförmig verlängert sind und einen eigentümlichen Anblick darbieten. Die Verlängerung entsteht dadurch, dass je zwei in einer Randkante zusammenstoßende Flächen der Pyramide oftmals in schmalen Streifen mit einander abwechseln. Bei genauerer Betrachtung der Krystalle mit der Lupe nimmt man wohl eine schmale Abstumpfung der Polkanten der Pyramide wahr, welche auf die Deuteropyramide $P\infty$ zurückzuführen ist.

Nicht selten sind die Polecken der Grundpyramide durch die Basis $0P$ abgestumpft. Dehnt sich dieselbe stark aus, so werden die Krystalle tafelförmig. Solche finden sich namentlich in Brasilien (S. Paolo); sie sind gelb bis braun gefärbt und zuweilen so glänzend, dass man sie mit Diamant verwechseln könnte. Diese Anatase zeichnen sich auch vor allen übrigen durch ihre Größe aus. Besonders schön sind die flächenreichen, glänzenden, durchsichtig gelben Anatase, welche sich im Gneiß der Alp Lercheltiny im Binnenthal des Oberwallis finden und gleichfalls oft eine ziemlich bedeutende Größe erreichen. An ihnen treten namentlich zahlreiche Protopyramiden auf, wie P, $\frac{1}{7}P$, $\frac{2}{3}P$, auch Deutero- und achtseitige Pyramiden. Durch das Vorherrschen der einen oder anderen Protopyramide erhalten die Krystalle ihren besonderen Habitus. Zuweilen erscheint sogar das sonst so seltene Deuteroprisma, wodurch die Krystalle die Form rechtwinkliger Säulen mit pyramidaler Endigung zeigen. Die herrlichen Krystalle dieses Fundortes, »der hervorragendsten Anatasfundstätte der Welt«, bilden eine Zierde einer jeden bedeutenderen Sammlung.

4. Der **Rutil** besteht, ebenso wie der Anatas, aus Titansäure-Anhydrid, krystallisiert auch in demselben System wie dieser, bildet jedoch ein von ihm durchaus verschiedenes Mineral. Während für den Anatas das Achsenverhältnis $c : a = 1{,}777 : 1$ ist, ist es für den Rutil $= 0{,}64$ Auch die physikalischen Eigenschaften beider

Mineralien sind verschieden; das spez. Gewicht des Anatases z. B. = 3,88, des Rutils = 4,25. Wir haben also hier ein Beispiel von Dimorphismus innerhalb desselben Krystallsystems.

Die Krystalle des Rutils sind fast stets säulenförmig, bald kurz, bald sehr lang, oft nadel- bis haarförmig. Sie zeigen gewöhnlich das Protoprisma ∞P, das Deuteroprisma $\infty P\infty$ und die Grundpyramide P, oft auch die Deuteropyramide $P\infty$ und achtseitige Prismen, wie $\infty P2$ oder $\infty P3$. In beistehender Kombination (Fig. 138) ist $m = \infty P$, $p = \infty P\infty$, $p^3 = \infty P3$, $o = P$, $o' = P\infty$. Die Basis $0P$ ist äußerst selten. Die Säulenflächen sind meist stark vertikal gestreift, häufig erscheinen die Säulen gerundet. Auch die Flächen der Deuteropyramide $P\infty$ sind gewöhnlich stark vertikal (in der Richtung der Höhenlinie resp. der Kombinationskante mit P) gestreift. Sowohl nach ∞P, als nach $\infty P\infty$, besonders aber nach dem ersteren lassen sich die Krystalle vollkommen spalten.

Einfache Rutilkrystalle findet man weniger häufig, die Zwillingsbildung herrscht ungemein vor, und zwar nach dem Gesetze: Zwillingsebene eine Fläche von $P\infty$. Die Hauptachsen der beiden mit einander verwachsenen Krystalle bilden dabei einen Winkel von 114° 25′. Nun setzt sich aber die Zwillingsbildung oft fort: an das zweite Individuum legt sich ein drittes, welches entweder dem ersten parallel geht oder, einer zweiten zu $P\infty$ gehörigen Zwillingsebene entsprechend, eine andere Richtung einschlägt. Im letzteren Falle entsteht ein eigentlicher Drilling in Gestalt einer zweimal geknickten Säule, deren drei Teile sämtlich verschieden gerichtet sind. Bisweilen kommen sogar kreisförmig in sich zurücklaufende Aggregate von sechs Individuen vor, wie denn überhaupt bei diesen Verwachsungen die größte Mannigfaltigkeit zu Tage tritt.

Einen ausgezeichneten, ziemlich großen Drilling von Pfitsch in Tirol stellt Fig. 139 dar. Derselbe ist von rotbrauner Farbe und erscheint in Begleitung zahlreicher weißer Periklinkrystalle. Die zweimal geknickte Säule zeigt die stark vertikal gestreiften Flächen des Protoprismas. Am Ende aber ist sie nicht durch eine einzelne Krystallfläche geschlossen, sondern löst sich, wie es beim Rutil häufig der Fall ist, in viele kleine Spitzen auf; sie erscheint dort wie zerhackt. Lässt man spiegeln, so bemerkt man, dass sich an der Begrenzung einer jeden der zahlreichen, die Endigung zusammensetzenden Spitzen vier der Deuteropyramide $P\infty$ angehörige Flächen beteiligen,

indem jede Spitze bei der vollen Drehung viermal erglänzt. Bei genauerer Betrachtung nimmt man auch die vertikale Streifung der kleinen Pyramidenflächen wahr. Die drei Individuen des Drillings sind so verbunden, dass ihre Hauptachsen nicht in einer Ebene liegen. Das erste, frei herausragende Individuum trägt noch seitlich kleine Prismen, welche dem zweiten parallel gehen; sie springen demgemäß vor, und es setzen sich an dieselben wieder andere Prismen an, welche dem ersten Individuum parallel sind. So und ähnlich wiederholt sich die Zwillingsbildung oft bis ins kleinste Detail.

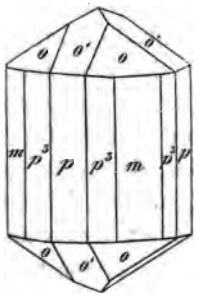


Fig. 138.

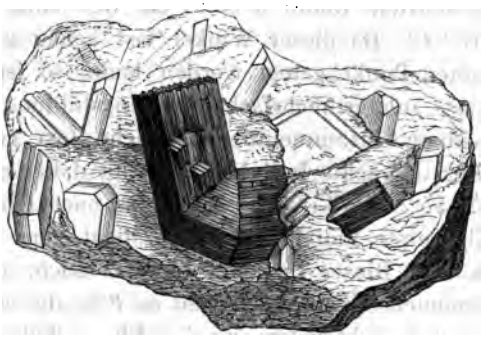


Fig. 139.

Besonders interessant sind die nach demselben Gesetze gebauten dunkel braunroten Achtlinge von Graves Mountain in Georgia. Einen solchen zeigt Fig. 140. Betrachten wir zunächst die beiden kleinen Hilfsfiguren. Die eine A stellt einen solchen Achtling für den Fall der einfachsten Ausbildung dar. Die abgebildete vordere Seite besteht aus vier, die nicht sichtbare aus ebenso vielen Einzelkrystallen. Einen derselben, den mit IV bezeichneten, stellt Fig. B für sich dar. Er wird begrenzt von einer Fläche ∞P und zwei $\infty P\infty$, außerdem von zwei Flächen $P\infty$, welche sich in der Kante $c\,c'$ schneiden und als Zwillingsebenen fungieren. Die drei ersteren Flächen werden nun bei der Verbindung des Krystalles mit den sieben übrigen (s. A) nach außen, die beiden letzteren nach innen ge-

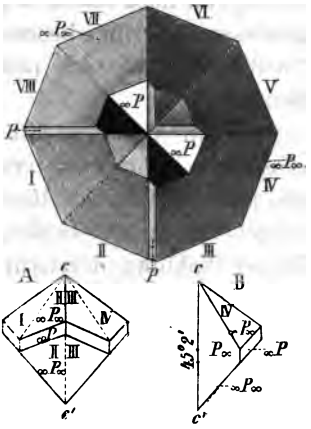


Fig. 140.

kehrt, so dass alle acht Individuen um eine Kante $P\infty : P\infty$ (parallel einer Polkante der Deuteropyramide) gruppiert sind und sich in den Zwillingsebenen berühren. Dabei steigen die Hauptachsen der acht Krystalle, entsprechend den Kombinationskanten $\infty P : \infty P\infty$, zickzackförmig auf und ab, und es fallen je zwei obere oder zwei untere Flächen $\infty P\infty$ der benachbarten Individuen in eine Ebene, so von I und II oben, von II und III unten u. s. w. Die Zwillingsgrenze ist daselbst durch eine gestrichelte Linie angedeutet. Der Winkel der nach innen, d. h. zur Linie $c\,c'$ gekehrten Kante $P\infty : P\infty$ des einzelnen Individuums beträgt $45^\circ\,2'$. Da dieser Winkel fast genau achtmal in einer Ebene um einen Punkt gelegt werden kann, so ist die Möglichkeit gegeben, dass zufolge mehrfacher Zwillingsbildung nach $P\infty$ sich acht Individuen zusammenfügen, welche fast genau den Kreis schließen. Für das achte Individuum bleibt dabei nur ein Raum von $360^\circ - 7 \cdot 45^\circ\,2' = 44^\circ\,46'$, so dass es nach einer Seite hin, da wo es an das erste Individuum stößt, nicht ganz vollständig entwickelt sein kann. Dieser Umstand bewirkt auch, dass die beiden unten zusammenstoßenden Flächen $\infty P\infty$ des achten und des ersten Krystalles nicht genau in eine Ebene fallen, sondern einen schwach einspringenden Winkel von $179^\circ\,48'$ bilden, was indes wegen der nicht ganz vollkommenen Beschaffenheit der Flächen nicht zu bemerken ist. Diese Achtlinge liefern ein schönes Beispiel für das uns später noch häufig begegnende Streben der Krystalle, auf Grund gewisser, hierfür besonders günstiger Winkel durch mehrfache Zwillingsbildung eine neue, symmetrisch erscheinende Form aufzubauen.

Die in A dargestellte Form des Achtlings ist, wie bemerkt, die einfachste. Manchmal erscheint derselbe auch etwas komplizierter, etwa wie der in der Hauptfigur 140, welche genau nach der Natur aufgenommen ist, wiedergegebene. Diese Figur stellt den Achtling in der Richtung der Gruppierungsachse $c\,c'$, also im Vergleich mit A von oben gesehen, dar. Die Flächen $\infty P\infty$ der acht Individuen stoßen daselbst nicht in einer vierkantigen Ecke zusammen, sondern es erscheint an deren Stelle eine trichterartig einspringende Ecke. Dieselbe wird von acht Flächen ∞P gebildet. Außerdem treten noch an vier Kanten Pyramidenflächen P in schmalen Streifen auf.

Die prachtvollsten, bisher bekannt gewordenen Rutilkrystalle und -zwillinge sind wohl diejenigen von der Emerald- und Hiddenit-Mine,

Alexander County (Nord-Carolina). Sie sind fast reinschwarz, ihre Flächen herrlich glänzend. Als Endflächen treten auf P, $P\infty$, sowie zwei achtseitige Pyramiden $P3$ und $3P\frac{3}{2}$. Zuweilen erscheint auch $0P$. Neben den modellähnlich gebildeten Zwillingen nach $P\infty$ kommen daselbst sehr schöne Verwachsungen nach einer Fläche von $3P\infty$ vor. Da bei denselben die Hauptachsen der beiden mit einander verbundenen prismatischen Krystalle unter einem spitzen Winkel von 54° 43′ zusammenstoßen, so erhält der Zwilling eine herzförmige Gestalt. —

Die Härte der Rutilkrystalle beträgt 6—6,5; sie sind rötlichbraun bis dunkel blutrot, auch gelblichbraun und schwarz, durchscheinend bis undurchsichtig und besitzen metallartigen Diamantglanz.

Der Rutil findet sich in aufgewachsenen Krystallen an vielen Orten im Gneiß, Glimmerschiefer, Granit zusammen mit Quarz, Feldspat, zuweilen mit Anatas. Häufig liegen die Krystalle eingeschlossen im Quarz, auch der Bergkrystall umschließt oft Nadeln von Rutil (Alpen, Vermont in Nordamerika). Nicht selten finden sich lose Krystalle unseres Minerals im Sande mit Quarz, Turmalin, zuweilen zusammen mit Gold (Ohlapian in Siebenbürgen, Orenburg am Ural).

Über die merkwürdigen regelmäßigen Verwachsungen von Rutil mit Eisenglanz siehe das Nähere bei letzterem Mineral.

5. **Zinnstein** besteht aus Zinnsäure-Anhydrid SnO_2, hat also eine mit der des Rutils analoge chemische Zusammensetzung. Dementsprechend ist er auch mit diesem isomorph, sein Achsenverhältnis ist $c : a = 0{,}672 : 1$. Die Krystalle erscheinen teils kurz säulenförmig, mit den Flächen ∞P, P, $\infty P\infty$ und $P\infty$, teils pyramidal, wenn P vorwaltet oder wenn die Flächen der ditetragonalen (achtseitigen) Pyramide $3P\frac{3}{2}$ vorherrschend auftreten. An gewissen spitzen und nadelförmigen Krystallen, welche man als Nadelzinnerz bezeichnet, wurden noch steile Protopyramiden, wie $\frac{5}{2}P$ und $5P$ beobachtet. Ebenso wie beim Rutil sind beim Zinnstein Zwillingskrystalle außerordentlich häufig und zwar gleichfalls nach den Flächen der Deuteropyramide $P\infty$. Einfache Krystalle sind selten.

Einen Zwilling und einen Drilling zeigt Fig. 141. Zum besseren Verständnisse des ersteren (mit B bezeichnet) betrachten wir zunächst die kleine Hilfsfigur A. Dieselbe zeigt zwei Krystalle der Kombination $P.\ \infty P\infty.\ \infty P$, welche sich zu einander in Zwillings-

stellung nach einer Fläche $P\infty$ befinden, die auf der Ebene der Zeichnung (s. die punktierte Linie) senkrecht steht. Die beiden Hauptachsen der Krystalle bilden einen Winkel von 112° 10′. Der Zwilling B entspricht dieser Figur, nur mit dem Unterschiede, dass beide Individuen etwa zur Hälfte ausgebildet sind. Auf der vorderen, bei beiden in eine Ebene fallenden Fläche $\infty P\infty$ sieht man die etwas unregelmäßig verlaufende Zwillingsgrenze, oben erscheint dieselbe als sogen. Zwillingsnaht, deren eigentümliche Riefung durch je zwei in schmalen Streifen abwechselnde Flächen von P hervorgebracht wird. Außer den bei A gezeichneten Flächen treten noch einige

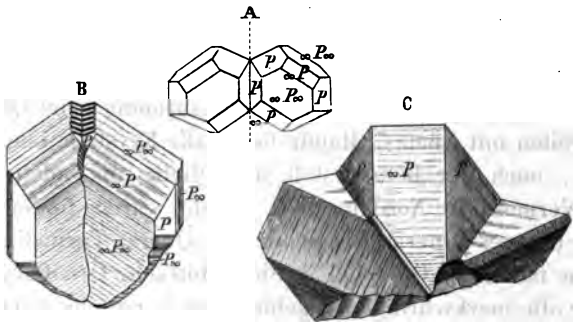


Fig. 141.

stark gefurchte der Deuteropyramide $P\infty$ selbst auf. Nächst diesen sind am stärksten gestreift die Flächen des Protoprismas ∞P, und zwar parallel der Hauptachse, während diejenigen des Deuteroprismas $\infty P\infty$ eine feinere Streifung gleicher Richtung tragen. Der beschriebene Zwilling stammt von Schlaggenwalde in Böhmen. Die Gruppe C (von Zinnwalde in Böhmen) besteht aus drei Individuen, welche wesentlich nur die Formen ∞P und P aufweisen. Der Drilling ist so gezeichnet, dass die Hauptachse des mittleren Individuums horizontal verläuft, und dass die beiden Zwillingsebenen rechts und links von demselben senkrecht zur Ebene der Figur stehen. Seine Deutung bietet keine Schwierigkeit. Treten in gleicher Weise wie hier noch weitere Individuen hinzu, so entstehen schließlich in sich zurücklaufende Gruppen, wobei sämtliche Einzelkrystalle um eine Nebenachse a, d. i. die Durchschnittslinie aller Zwillingsebenen, gelagert sind.

Manchmal schließen auch zwei parallele Individuen ein drittes

zu ihnen in Zwillingsstellung befindliches ein, welches letztere dann oft nur als eine mehr oder weniger dicke Lamelle erscheint. Solche Gebilde sind natürlich keine eigentlichen Drillinge, da die beiden umschließenden Krystalle in Wirklichkeit nur einen einzigen Krystall darstellen, welchem das andere Individuum als Zwillingsstück eingelagert ist.

Der Zinnstein zeigt eine unvollkommene Spaltbarkeit nach ∞P und $\infty P \infty$; seine Härte ist 6—7, sein spezifisches Gewicht etwa 7. Die Krystalle sind meist gelblich-, rötlich- oder schwärzlichbraun bis pechschwarz, selten gelblichweiß bis weingelb oder rot gefärbt, besitzen Diamant- oder Fettglanz und sind durchscheinend bis undurchsichtig. Sie finden sich ein- und aufgewachsen namentlich in älteren Gesteinen, wie im Granit, Gneiß und Porphyr, begleitet von Quarz, Scheelit, Beryll, Topas, Apatit, Flussspat u. a. Bekannte Fundorte sind: das sächsisch-böhmische Erzgebirge (Zinnwalde, Altenberg, Marienberg, Geyer, Graupen, Schlaggenwalde), Bretagne, Galicien in Spanien, Cornwallis und Devonshire.

XVII.

Die Hemiedrien des quadratischen Systems. Kupferkies, Scheelit, Gelbbleierz.

Die im quadratischen System vorhandene Haupt-Symmetrieebene teilt mit den beiden primären Hauptschnitten den Raum in acht gleiche Teile oder Oktanten. Indem die in den abwechselnden Oktanten liegenden Flächen der verschiedenen Krystallformen verschwinden, während die anderen sich stärker ausdehnen, entstehen hemiedrische Gestalten, ähnlich wie es im regulären System bei der tetraedrischen Hemiedrie der Fall ist. Man bezeichnet diese Art der Hemiedrie im quadratischen System als die sphenoidische.

Die primären und sekundären Hauptschnitte, welche sich bekanntlich in der Hauptachse schneiden, zerlegen ebenfalls den Raum in acht Teile. Verschwinden hier die in den abwechselnden Teilen liegenden Flächen, so entstehen andere hemiedrische Formen. Die betreffende Hemiedrie wird die pyramidale genannt.

Die sämtlichen fünf Symmetrieebenen zusammen teilen endlich den Raum in 16 Abschnitte. Wenden wir auf die darin liegenden Flächen das Gesetz der Hemiedrie an, so gelangen wir zu einer dritten Art von hemiedrischen Formen. Diese Hemiedrie nennt man die trapezoedrische.

1. Durch die sphenoidische Hemiedrie erleiden eine Veränderung nur die achtseitigen Pyramiden und die Protopyramiden. Äußerlich unverändert bleiben also die Deuteropyramiden und sämtliche offene Formen, weil deren Flächen stets gleichzeitig in zwei oder mehr benachbarten Oktanten liegen, wodurch die Wirkung der Hemiedrie wieder aufgehoben wird.

Dehnen sich die in den abwechselnden Oktanten liegenden, etwa die in Fig. 142 weiß gelassenen Flächen einer achtseitigen Pyramide stärker aus, während die anderen verschwinden, so entsteht ein quadratisches Skalenoeder*) (Fig. 143), welches von acht ungleichseitigen Dreiecken umschlossen wird. Die in Fig. 142 schraffierten Flächen würden eine genau gleiche, jedoch gegen die

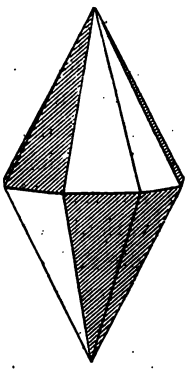


Fig. 142.

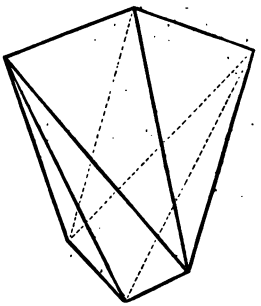


Fig. 143.

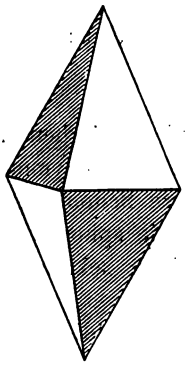


Fig. 144.

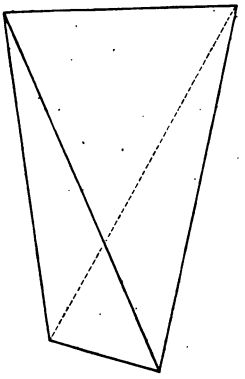


Fig. 145.

erste um 90° (um die Hauptachse) gedrehte Gestalt liefern. Die quadratischen Skalenoeder besitzen vier stumpfere und vier, damit abwechselnde, schärfere Polkanten, außerdem vier auf- und absteigende gleiche Mittelkanten. Außer den beiden Polecken finden wir vier

*) σκαληνός, ungleichseitig.

Seitenecken. Das Zeichen für die beschriebenen Formen ist $\pm \frac{mPn}{2}$. Am Kupferkies, welcher der sphenoidischen Hemiedrie unterliegt, erscheint z. B. das Skalenoeder $+ \frac{P3}{2}$.

Die Protopyramiden zerfallen unter dem Einfluss der in Rede stehenden Hemiedrie in je zwei, von vier gleichschenkligen Dreiecken umschlossene Formen, welche man Sphenoide*) nennt. Von ihnen hat auch die Hemiedrie ihre Benennung erhalten. Dehnen sich z. B. die in Fig. 144 weiß gelassenen Flächen stärker aus, während die schraffierten verschwinden, so entsteht das Sphenoid Fig. 145; im umgekehrten Falle würde man eine gleiche, von der ersten wieder nur durch ihre Stellung sich unterscheidende Form erhalten. Ein Sphenoid besitzt zwei, horizontal verlaufende, Polkanten und vier gleiche Mittelkanten. In Fig. 145 sind die Polkanten schärfer als die Mittelkanten, was daher rührt, dass die entsprechende Pyramide eine spitze ist. Wäre dieselbe eine stumpfe, so würden umgekehrt die Polkanten stumpfer sein als die Mittelkanten. Je mehr sich die Pyramide in ihren Winkeln dem Oktaeder nähert, um so näher kommen auch die Polkanten den Mittelkanten; das betreffende Sphenoid wird dann dem gleichkantigen regulären Tetraeder äußerlich immer ähnlicher. Die Sphenoide erhalten das allgemeine krystallographische Symbol $\pm \frac{mP}{2}$.

Aus dem über die Ableitung der sphenoidischen Hemiedrie Gesagten geht hervor, dass bei derselben die Haupt-Symmetrieebene und die beiden primären Hauptschnitte ihre Bedeutung als Symmetrieebenen eingebüßt haben, dass also die sphenoidisch-hemiedrischen Krystalle nur noch nach den beiden sekundären Hauptschnitten symmetrisch sind.

Als das wichtigste Beispiel für die sphenoidische Hemiedrie besprechen wir den

Kupferkies. Das Achsenverhältnis dieses häufigen Minerals steht demjenigen des regulären Systems außerordentlich nahe; es verhält sich die Hauptachse c zu den Nebenachsen a wie 0,9856 : 1. Infolge dessen muss die Grundpyramide P dem regulären Oktaeder sehr ähnlich sein. Ihr Polkantenwinkel beträgt 109° 53′, der Winkel

*) σφήν, der Keil.

der Randkanten 108° 40′ (beim Oktaeder sind alle Winkel = 109° 28′). Nun zerfällt aber diese Pyramide in zwei Sphenoide, was man schon daran erkennt, dass ihre Flächen abwechselnd glänzend und matt (oder gestreift) sind. Das mattflächige Sphenoid bezeichnet man als das positive, das glänzende als das negative. Beide halten sich entweder völlig oder nahezu das Gleichgewicht, oder, was noch häufiger der Fall ist, das positive herrscht vor und das negative stumpft die Ecken desselben ab (s. Fig. 146 *A*, wo $P = +\frac{P}{2}$ und $P' = -\frac{P}{2}$). Zu

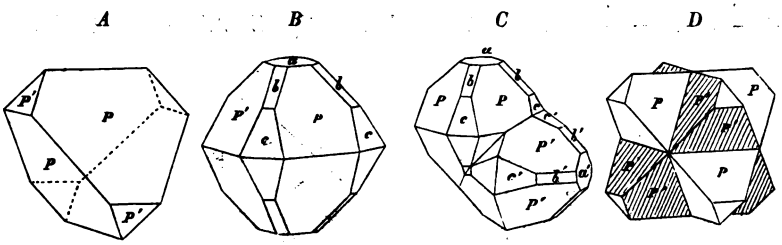


Fig. 146.

den beiden Sphenoiden $\pm\frac{P}{2}$ tritt dann wohl die Basis $0P$, die Deuteropyramide $P\infty$, welche die Polkanten der scheinbar holoedrischen Grundpyramide abstumpft, und eine zweite Deuteropyramide $2P\infty$ (Fig. 146 *B*, wo $a = 0P$, $b = P\infty$, $c = 2P\infty$). Manchmal herrscht auch die letztgenannte Deuteropyramide vor; ihre Polkanten werden durch die Sphenoide $+\frac{P}{2}$ und $-\frac{P}{2}$ abgestumpft. Auch Skalenoeder werden beobachtet. Dieselben gehören meist der positiven Stellung an, z. B. $+\frac{P3}{2}$; ihre stumpfen Polkanten fallen deshalb über die Flächen von $+\frac{P}{2}$.

Die Krystalle des Kupferkieses sind meist klein und häufig durch einseitige Verkürzung oder Verlängerung verzerrt. Dazu kommt, dass gewisse Flächen oft stark gestreift bis gekrümmt sind. Es ist deshalb manchmal schwer, die Formen richtig zu deuten. Diese Schwierigkeit wird noch erhöht durch den Umstand, dass die Mehrzahl der Krystalle aus Zwillingen besteht, und dass die oft wiederholte Zwillingsbildung nach verschiedenen Gesetzen stattfindet. Zunächst findet man sehr häufig Zwillinge, welche in ganz ähnlicher

Weise gebildet sind, wie der in Fig. 97 dargestellte Zinkblende-Zwilling. Zwei Individuen, etwa der Kombination $+\frac{P}{2} \cdot -\frac{P}{2}$, verwachsen mit je einer Sphenoidfläche, jedoch ist dieselbe bei dem einen $+\frac{P}{2}$, bei dem anderen $-\frac{P}{2}$. Infolge dessen liegen die beiden Krystalle zur Verwachsungsebene nicht symmetrisch, wie es bei den äußerlich so ähnlichen Zwillingen holoedrisch-regulärer Substanzen nach O der Fall ist. Vielmehr stoßen an der Zwillingsgrenze stets $+\frac{P}{2}$ und $-\frac{P}{2}$ zusammen. Zwei derartige Zwillinge stellt Fig. 147

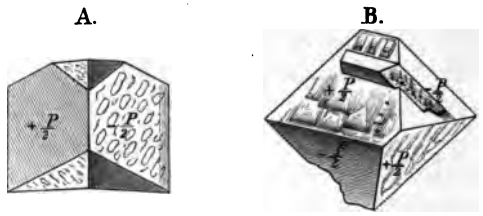


Fig. 147.

nach der Natur gezeichnet dar. Der erste A (von Schlaggenwalde in Böhmen) ist so gestellt, dass die Verwachsungsfläche senkrecht zur Ebene des Papiers steht. Die Flächen $+\frac{P}{2}$ sind vertikal zu den Polkanten gestreift, die glänzenderen $-\frac{P}{2}$ nur zart gezeichnet. Man sieht deutlich, dass an der Zwillingsgrenze stets eine positive mit einer negativen Sphenoidfläche zusammentrifft. Der andere Zwilling B (von Herefordmine in Devonshire) zeigt ein vorherrschendes Individuum mit stark gezeichnetem $+\frac{P}{2}$ und ebenem $-\frac{P}{2}$, welchem das zweite nach demselben Gesetze wie bei A, jedoch nur in Gestalt einer ziemlich breiten Lamelle, eingeschaltet ist.

Außer diesem Zwillingsgesetze treten noch zwei andere auf. Zwei Individuen liegen symmetrisch zu einander nach einer Fläche der Deuteropyramide $P\infty$. Einen solchen Zwilling zeigt Fig. 146 C. Die Flächenkombination ist dieselbe wie bei Fig. 146 B. Diese Zwillingsbildung herrscht oft so, dass ein mittleres Individuum an allen vier unteren oder oberen Polkanten der scheinbar holoedrischen

Grundpyramide $\pm \frac{P}{2}$ mit anderen Individuen verbunden ist. Dadurch entsteht ein Fünfling. — Endlich kommen Zwillinge vor wie Fig. 146 D. Zwei Krystalle der Kombination $+\frac{P}{2} \cdot -\frac{P}{2}$ durchwachsen einander so, dass zwar die Achsensysteme beider parallel sind, dass aber der eine Krystall seine positiven Oktanten (mit $+\frac{P}{2}$) dahin richtet, wo der andere die negativen (mit $-\frac{P}{2}$) hat. Zur Verdeutlichung des Bildes sind die Flächen des einen positiven Sphenoids (hier mit P' bezeichnet) so gestreift, wie es auch in der Natur oft vorkommt. Ein solcher Zwilling ist ein Ergänzungszwilling, ganz ähnlich wie der in Fig. 95 dargestellte Zwilling von Fahlerz. Das eine Individuum liegt zu dem anderen symmetrisch nach der Basis $0P$.

Die hübschen regelmäßigen Verwachsungen von Kupferkies mit Fahlerz, wobei die Krystalle des letzteren mit einer Hülle von Kupferkies überzogen sind, wurden schon S. 130 erwähnt.

Die Kupferkieskrystalle zeigen keine deutliche Spaltbarkeit, muscheligen bis unebenen Bruch und sind spröde. Ihre Farbe ist messinggelb mit einem Stich ins Grüne; oft sind sie braun oder bunt angelaufen. Der Strich ist grünlichschwarz. Durch ihre geringe Härte (3,5—4) unterscheiden sie sich deutlich von dem ähnlich gefärbten Schwefelkies. Spezif. Gew. = 4,2. Die chemische Zusammensetzung entspricht der Formel $Cu_2S \cdot Fe_2S_3$ (Halb-Schwefelkupfer mit Anderthalbfach-Schwefeleisen). Der Kupferkies ist zwar nicht das kupferreichste, wohl aber das verbreitetste Kupfererz. Er findet sich mit anderen Erzen (Bleiglanz, Zinkblende, Fahlerz, Schwefelkies) auf Gängen und Lagern der verschiedenen Gebirgsformationen. Von den sehr zahlreichen Fundorten seien noch genannt: Freiberg, Clausthal, Goslar, Siegen, Nassau, Kupferberg in Schlesien, Bodenmais, Cornwall, Fahlun, Kalifornien, Chile.

2. Bei der pyramidalen Hemiedrie sind es gleichfalls nur zwei Formen, welche eine äußerliche Veränderung erfahren, nämlich die achtseitigen Pyramiden und die achtseitigen Prismen; alle übrigen bleiben unverändert.

Dehnen sich die in Fig. 148 weiß gelassenen Flächen der achtseitigen Pyramide stärker aus, während die schraffierten verschwinden, so entsteht eine, äußerlich einer Proto- oder Deuteropyramide

gleichende, von acht gleichschenkligen Dreiecken umschlossene Pyramide dritter Art oder Tritopyramide (Fig. 149). Dieselbe besitzt eine Zwischenstellung zwischen derjenigen einer Proto- und der einer Deuteropyramide. Die Lage ihrer Randkanten zu den Nebenachsen ist aus dem horizontalen Querschnitt Fig. 150 ersichtlich, welcher dem Falle entspricht, dass die achtseitige Pyramide, aus der die Tritopyramide hervorgegangen ist, der Reihe $mP3$ angehört. Die in Fig. 148 schraffierten Flächen würden eine zweite Tritopyramide liefern, welche der ersten an Gestalt gleich, jedoch

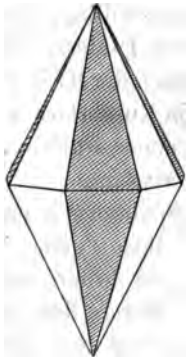


Fig. 148.

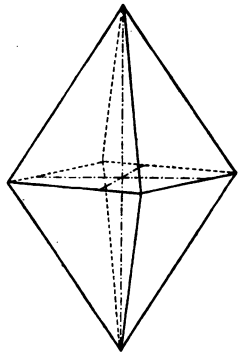


Fig. 149.

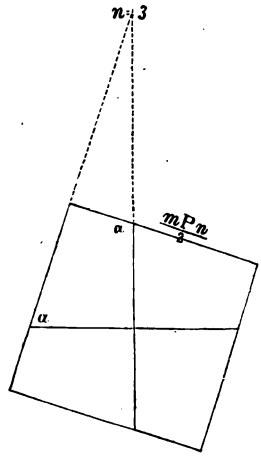


Fig. 150.

gegen dieselbe um 180° um eine Nebenachse gedreht ist. Man unterscheidet die beiden aus derselben achtseitigen Pyramide hervorgegangenen hemiedrischen Formen als positive und negative Tritopyramide. Das Zeichen für die Tritopyramiden ist $\pm \frac{mPn}{2}$. Da sich dasselbe von demjenigen der quadratischen Skalenoeder nicht unterscheidet, indem es nur das Vorhandensein einer Hemiedrie andeutet, so muss man bei der Beschreibung eines betreffenden Krystalles zunächst angeben, welcher Art die ihn beherrschende Hemiedrie ist.

Die achtseitigen Prismen verwandeln sich unter dem Einfluss der pyramidalen Hemiedrie in vierseitige rechtwinklige Prismen von Zwischenstellung (Tritoprismen), welche also zu dem Proto- und Deuteroprisma genau in derselben Beziehung stehen, wie die Tritopyramiden zu den Proto- und Deuteropyramiden. Sie gehen gewisser-

maßen aus den Tritopyramiden mit gleichem Koeffizienten n dadurch hervor, dass bei denselben der auf die Hauptachse bezügliche Koeffizient $m=\infty$ wird. Jedes achtseitige Prisma liefert natürlich zwei Tritoprismen, welche man als positives und negatives unterscheidet. Das Symbol für diese Formen ist $\pm \frac{\infty Pn}{2}$.

Die pyramidal-hemiedrischen Formen besitzen nur noch eine Symmetrieebene, nämlich die Basis; die primären und sekundären Hauptschnitte haben ihre Bedeutung als solche durch die Hemiedrie verloren.

Wir besprechen nur kurz zwei Beispiele der pyramidalen Hemiedrie, den **Scheelit** (wolframsaurer Kalk $CaWO_4$) und das **Gelbbleierz** (molybdänsaures Bleioxyd $PbMoO_4$), welche isomorph sind. Der Scheelit zeigt oft die Deuteropyramide $P\infty$ selbständig oder vorherrschend. Da dieselbe einen Polkantenwinkel von 108° 12′ besitzt, so sieht sie dem regulären Oktaeder (Kantenwinkel = 109° 28′) sehr ähnlich. Dazu tritt häufig die Grundpyramide P, sowie zwei Tritopyramiden $\frac{3P3}{2}$ und $\frac{P3}{2}$. Fig. 151 zeigt sämtliche genannte Formen: $e = P\infty$,

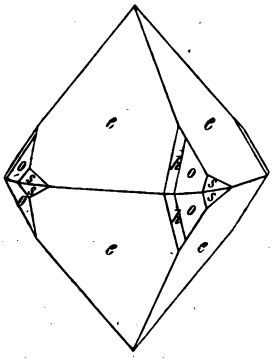


Fig. 151.

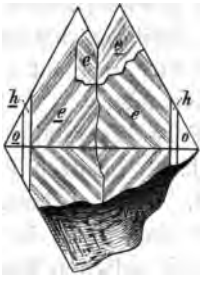


Fig. 152.

$o = P$, $s = \frac{3P3}{2}$, $h = \frac{P3}{2}$. — s und h besitzen entgegengesetzte Stellung; s liegt rechts, h links von o. Bezeichnet man deshalb s als positive, so muss man h als negative Tritopyramide bezeichnen. Charakteristisch ist eine ziemlich grobe Streifung auf $P\infty$, welche der Kombinationskante $e:s$ parallel geht, also auf die Hemiedrie

hinweist. Doch bemerkt man auch häufig eine feinere Streifung parallel $e : h$.

Von besonderem Interesse sind die Zwillinge des Scheelits. Zwei Krystalle verwachsen so mit einander, dass ihre Achsensysteme parallel gehen, und dass beide zu einer Fläche des Deuteroprismas $\infty P\infty$, welche ja infolge der Hemiedrie keine Symmetrieebene der einzelnen Krystalle mehr ist, symmetrisch gestellt sind. Der in Fig. 152 S. 185 abgebildete Zwilling von Schlaggenwalde wird das Verhältnis leicht klar machen. Er zeigt die Flächen e, stark nach $e : s$ gestreift, o und h, und ist so gestellt, dass die Ebene der Zeichnung zwei Flächen $\infty P\infty$ beider Individuen parallel geht, während diejenige Fläche $\infty P\infty$, welche die Rolle der Zwillingsebene spielt, dazu senkrecht steht. Infolge dessen erscheinen die beiden verwachsenen Krystalle, abgesehen von ihrer nicht genau gleichmäßigen Ausbildung, wie Gegenstand und Spiegelbild; bei dem einen liegt h $(\frac{P3}{2})$ links von o (P), bei dem anderen, dessen Flächenbezeichnung unterstrichen ist, rechts von o. Das rechts gelegene Individuum entspricht hinsichtlich der Lage von h dem in Fig. 151 gezeichneten Krystall. Da infolge der Zwillingsbildung die Tritopyramide wieder an beiden Seiten der Grundpyramide erscheint, so haben wir einen Ergänzungszwilling vor uns. Die Zwillingsbildung hebt gewissermaßen die Hemiedrie wieder auf. An dem oberen Teile des Zwillings haben beide Individuen, wie man an der verwendeten Streifung auf e sieht, ihre Stellung vertauscht; sie durchkreuzen einander.

Die Scheelitkrystalle sind selten farblos, meist grau, gelb oder braun gefärbt, besitzen Fettglanz und sind durchsichtig bis durchscheinend. Nach P lassen sie eine unvollkommene Spaltbarkeit erkennen; ihre Härte ist 4—5, ihr spezif. Gew. 6. Als Fundorte des ziemlich seltenen Minerals sind zu nennen: Neudorf im Harz, Schwarzenberg in Sachsen, Zinnwalde in Böhmen, Connecticut. Die schönsten Krystalle, freilich bis jetzt nur in geringer Zahl, hat man im Sulzbachthal in Tirol gefunden.

Während die Krystalle des Scheelits meist pyramidal sind, erscheinen diejenigen des mit ihm isomorphen Gelbbleierzes (auch Wulfenit genannt) häufiger tafelförmig. Gewöhnlich herrscht die Basis vor, zu welcher die Flächen des Protoprismas, auch verschiedener Proto- und Deuteropyramiden, wie P (Randkantenwinkel $131\frac{3}{4}^{\circ}$),

$\frac{1}{3}P$, $P\infty$, $\frac{1}{2}P\infty$ hinzutreten. Das Vorhandensein der pyramidalen Hemiedrie erkennt man zuweilen an dem Auftreten gewisser Tritoprismen, wie $\frac{\infty P\frac{4}{3}}{2}$; die abwechselnden Flächen der achtseitigen Prismen bleiben dabei aus. Zwillinge von Wulfenit sind nicht bekannt. Nach P ist eine deutliche Spaltbarkeit vorhanden; die Härte ist = 3, das spez. Gew. = 6,9. Die Krystalle sind meist wachs-, honig- oder citronengelb, manchmal auch (durch einen Gehalt an Chrom) rot gefärbt. Sie besitzen Fett- bis Diamantglanz und sind durchsichtig bis durchscheinend.

Der Wulfenit findet sich zusammen mit Bleiglanz und anderen Bleierzen namentlich im Kalkstein und Dolomit. Besonders bekannte Fundorte sind: Bleiberg und Kappel in Kärnthen, Berggieshübel und Schneeberg in Sachsen, Przibram in Böhmen, Rezbanya in Ungarn, Tecomah in Utah, Phönixville in Pennsylvanien. Bei weitem die schönsten Krystalle, stark glänzende, prächtig orangerote Tafeln, wurden jedoch in neuerer Zeit in Arizona (Vereinigte Staaten) gefunden.

3. Der trapezoedrischen Hemiedrie gehorchen einige wenige organische Verbindungen, wie z. B. das schwefelsaure Strychnin. Doch hat man an denselben bisher noch keine eigentlichen hemiedrischen Formen beobachtet, vielmehr ihre Zugehörigkeit zu der genannten Hemiedrie nur aus gewissen physikalischen Eigenschaften (optisches Verhalten, Ätzerscheinungen) gefolgert. Wir gehen deshalb nicht näher darauf ein.

XVIII.

Hexagonales Krystallsystem. Holoedrische Formen. Beryll.

Die Formen des hexagonalen Systems werden auf vier Achsen zurückgeführt. Von diesen sind drei gleichlang, liegen in einer Ebene und schneiden sich unter einem Winkel von 60°; die vierte kann länger oder kürzer sein und steht auf den ersteren senkrecht. Ebenso wie im quadratischen System nennt man hier die einzeln vorhandene Achse die Hauptachse (*c*), die anderen Nebenachsen (*a*). Für jede hexagonal krystallisierende Substanz ist das Achsenverhältnis $c : a \; (= c : 1)$ ein bestimmtes. Für den Beryll ist dasselbe z. B. $= 0{,}4989 : 1$, für den Kalkspat $= 0{,}8543 : 1$. Die Formen des hexagonalen Systems besitzen wie die quadratischen einen sogen. wirtelförmigen Bau, indem ihre Flächen gleichmäßig um die Hauptachse gruppiert sind. Die Zahl ihrer Symmetrieebenen ist sieben. Eine, die Haupt-Symmetrieebene, geht durch die drei Nebenachsen, steht also auf der Hauptachse senkrecht; drei gehen durch je eine Nebenachse und durch die Hauptachse, sie werden primäre Hauptschnitte genannt, — die drei übrigen gehen durch die Hauptachse und halbieren den von zwei Nebenachsen gebildeten Winkel, sie heißen sekundäre Hauptschnitte.

Die hexagonalen Formen werden ähnlich aufgestellt wie die quadratischen. Die Hauptachse steht senkrecht, und eine Nebenachse verläuft von rechts nach links. Man unterscheidet:

a) geschlossene Formen:

1. Hexagonale Pyramiden erster Art oder Protopyramiden,

2. Hexagonale Pyramiden zweiter Art oder Deuteropyramiden,
3. Zwölfseitige (dihexagonale) Pyramiden;

b) offene Formen:

1. Hexagonales Prisma erster Art oder Protoprisma,
2. Hexagonales Prisma zweiter Art oder Deuteroprisma,
3. Zwölfseitige (dihexagonale) Prismen,
4. Basis.

Die hexagonalen Pyramiden erster Art (Fig. 153) werden umschlossen von zwölf gleichschenkligen Dreiecken; sie besitzen sechs gleiche Randkanten, in welchen je zwei Grundlinien, und zwölf gleiche Polkanten, in welchen je zwei Schenkel jener Dreiecke zusammenstoßen. Jede Nebenachse verbindet zwei vierflächige (zwei- und zweikantige) Randecken, die Hauptachse die beiden sechsflächigen (gleichkantigen) Polecken. Jede Fläche einer Protopyramide schneidet zwei Nebenachsen in gleicher (einfacher) Entfernung vom Achsenmittelpunkte, außerdem die Hauptachse, geht aber der dritten Nebenachse parallel.

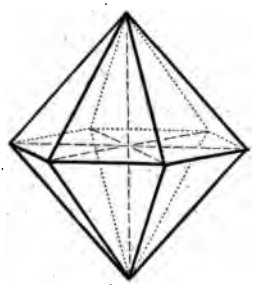


Fig. 153.

Die verschiedenen, bei einer und derselben hexagonal krystallisierenden Substanz möglichen Protopyramiden unterscheiden sich von einander durch den verschiedenen Abstand, in welchem ihre Flächen die Hauptachse, vom Achsenmittelpunkte aus gemessen, schneiden. Wählt man eine derselben als Grundform und bestimmt für diese das Achsenverhältnis $c : a = c : 1$, wobei also der für c erhaltene Wert die relative Länge der Hauptachse darstellt, so steht — genau wie bei den quadratischen Protopyramiden — die Länge der Hauptachse bei den übrigen zu jenem Werte in einem einfachen, durch rationale Zahlen ausdrückbaren Verhältnisse. Während demnach das krystallographische Symbol für die Grundform $a : a : \infty a : c$ oder kurz P ist, erhalten wir für die übrigen zugehörigen Protopyramiden das allgemeine Zeichen $a : a : \infty a : m c$ oder $m P$. Der vor P stehende Koeffizient m ($\gtrless 1$) bezieht sich auch hier immer auf die Hauptachse.

Die hexagonalen Deuteropyramiden sind äußerlich den Protopyramiden völlig ähnlich, unterscheiden sich aber von ihnen durch ihre Stellung zum Achsenkreuz. Sie sind im Verhältnis zu

jenen gleichsam um 30° um die Hauptachse gedreht. Jede Fläche einer Deuteropyramide schneidet alle vier Achsen, und zwar außer der Hauptachse, welche in der einfachen oder m-fachen Länge getroffen wird, eine Nebenachse in der einfachen, die beiden anderen benachbarten in der doppelten Entfernung. Infolge dessen werden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Randkanten durch eine Nebenachse verbunden, wie aus dem horizontalen Querschnitt (Fig. 154) zu ersehen ist (daselbst sind die kürzeren Randkanten der Protopyramiden durch punktierte Linien bezeichnet). Das krystallographische Symbol für die Deuteropyramiden ist $2a : a : 2a : mc$ oder $mP2$. Zu dem letzteren gelangt man, wenn man von einer Protopyramide mP ausgeht und sich deren Flächen um je eine Polkante so weit aus ihrer Lage gedreht denkt, bis sie eine jener Kante benachbarte Nebenachse in der doppelten Entfernung vom Achsenmittelpunkte treffen. In dem Symbol $mP2$ sind demnach die Koeffizienten m, 1 und 2 enthalten; die beiden letzteren beziehen sich auf zwei Nebenachsen. Es genügt ja auch zur Bestimmung der Lage einer Fläche, die Abstände anzugeben, in welchen sie die Hauptachse und zwei Nebenachsen schneidet. Der Schnittpunkt der dritten Nebenachse ist dann schon von selbst bestimmt.

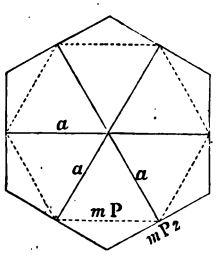


Fig. 154.

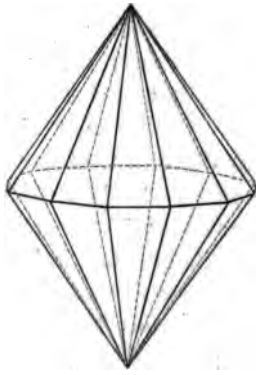


Fig. 155.

Die zwölfseitigen Pyramiden (Fig. 155) werden von 24 ungleichseitigen Dreiecken umschlossen. Sie besitzen dreierlei Kanten, nämlich zwölf Randkanten, welche in der Ebene der Nebenachsen liegen, sowie zwölf längere schärfere und zwölf kürzere stumpfere

Polkanten, wovon die ersteren gewöhnlich in den primären, die letzteren in den sekundären Hauptschnitten liegen. Auch die Ecken sind dreierlei: zwei zwölfflächige (sechs- und sechskantige) Polecken, sechs spitzere und sechs stumpfere vierflächige (zwei- und zweikantige) Randecken. Die Flächen der zwölfseitigen Pyramiden schneiden — außer der Hauptachse — von zwei benachbarten (demselben Sextanten angehörigen) Nebenachsen die eine in einfacher, die andere in $n$facher Entfernung. Die dritte Nebenachse wird dann in der $\frac{n}{n-1}$fachen Entfernung geschnitten. Die Lage der Flächen entspricht also dem Symbol $na : a : \frac{n}{n-1} a : mc$. Den Schnittpunkt der dritten Nebenachse kann man, weil er aus den beiden anderen folgt, unberücksichtigt lassen. Dann erhält man, ganz ähnlich wie bei den Deuteropyramiden, für die zwölfseitigen Pyramiden das allgemeine Zeichen $m\,P\,n$. Der Koeffizient m bezieht sich auf die Hauptachse, n auf eine Nebenachse; letzterer ist stets größer als 1 und kleiner als 2. Würde $n = 2$, so fielen je zwei obere oder untere, an derselben Nebenachse liegende Flächen zu einer zusammen, und die zwölfseitige Pyramide ginge in eine Deuteropyramide $m\,P\,2$ über.

Es sei noch bemerkt, dass eine dihexagonale Pyramide mit lauter gleichen Polkanten, welche also im horizontalen Querschnitt ein reguläres Zwölfeck zeigen würde, als Krystallform ebenso wenig möglich ist, wie im quadratischen System eine achtseitige Pyramide mit lauter gleichen Polkanten. Es würde nämlich in diesem Falle n den irrationalen Wert 1,366... erhalten, was nach dem Gesetze der rationalen Achsenschnitte nicht möglich ist.

Die offenen Formen lassen sich, ganz entsprechend denjenigen des quadratischen Systems, aus den beschriebenen geschlossenen ableiten, indem bei denselben der auf die Hauptachse bezügliche Koeffizient m gleich ∞ oder gleich 0 wird. Wird bei den Protopyramiden $m = \infty$, so entsteht das hexagonale Prisma erster Art oder das Protoprisma ∞P (Fig. 156 S. 192). Dasselbe besitzt sechs der Hauptachse parallele Kanten von 120° und wird im einfachsten Falle, wie in Fig. 156, durch die Basis geschlossen, welche auch hier als eine Protopyramide mit unendlich kurzer Hauptachse aufgefasst wird und demnach das Zeichen $0\,P$ erhält. Die Deuteropyramiden $m\,P\,2$ liefern für den Fall, dass $m = \infty$ wird, das Deuteroprisma $\infty\,P\,2$, welches dem Protoprisma äußerlich völlig

gleicht, sich jedoch von ihm dadurch unterscheidet, dass es gegen dasselbe gleichsam um 30° um die Hauptachse gedreht ist. Aus den zwölfseitigen Pyramiden endlich entstehen für $m = \infty$ die zwölfseitigen (dihexagonalen) Prismen $\infty P n$ (Fig. 157), deren zwölf der Hauptachse parallele Kanten zu je sechs abwechselnd gleich sind.

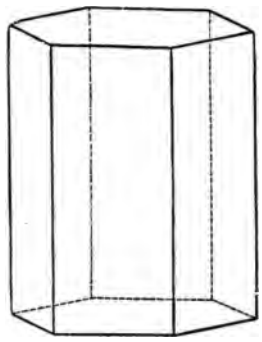


Fig. 156.

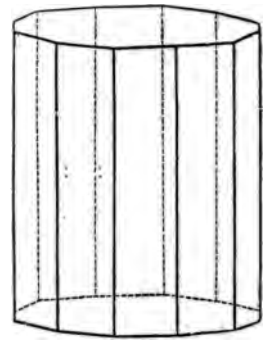


Fig. 157.

Den allgemeinsten Fall einer hexagonalen Form stellen die zwölfseitigen Pyramiden $m P n$ dar. Wird in denselben $n = 1$, so gehen sie in die Protopyramiden $m P$, wird $n = 2$, so gehen sie in die Deuteropyramiden $m P 2$ über. Wird $m = \infty$, so erhält man die zwölfseitigen Prismen $\infty P n$; wird gleichzeitig $n = 1$ oder $= 2$, so resultiert das Proto- oder das Deuteroprisma. Wird endlich $n = 1$ und $m = 0$, so erhält man die Basis $0 P$.

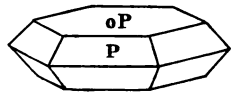


Fig. 158.

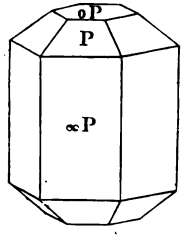


Fig. 160.

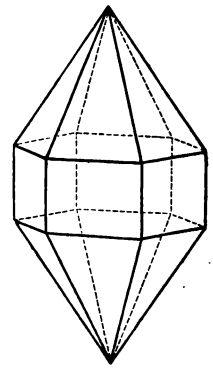


Fig. 159.

Erscheint die Basis in Kombination mit einer Pyramide, so stumpft sie die Polecken derselben gerade ab (Fig. 158). Die Randkanten der Protopyramiden werden durch das Protoprisma (Fig. 159), diejenigen der Deuteropyramiden durch das Deuteroprisma gerade abgestumpft. Anderseits erfahren die Randecken der Protopyramiden eine gerade Abstumpfung durch das Deuteroprisma, die Randecken der Deuteropyramiden umgekehrt eine solche durch das Protoprisma. Fig. 160 zeigt die dreizählige Kombination $\infty P \cdot P \cdot 0\,P$, eine flächenreichere werden wir bei dem gleich zu besprechenden Beispiele einer holoedrisch hexagonal krystallisierenden Substanz, dem Beryll, kennen lernen. Die Zahl solcher Substanzen ist übrigens auffallend klein; die meisten diesem System angehörigen Krystalle unterliegen einer Hemiedrie oder Tetartoedrie.

Der **Beryll**, welcher aus kieselsaurer Thonerde und kieselsaurer Beryllerde besteht, erscheint stets in säulenförmigen Krystallen. An denselben herrscht das Protoprisma ∞P vor; zu ihm tritt die Basis $0\,P$, oft auch das Deuteroprisma $\infty P2$. Eine Gruppe von ziemlich großen Beryllkrystallen vom Rabenstein bei Bodenmais, welche nur das Protoprisma und die Basis zeigen, stellt Fig. 161 in etwa halber

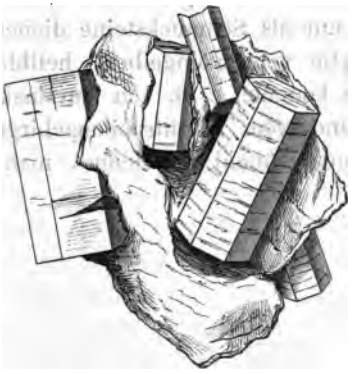


Fig. 161.

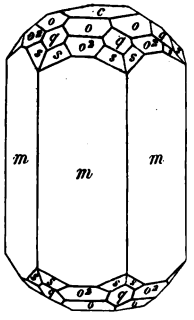


Fig. 162.

natürlicher Größe dar. Dieselben sind weißlichgrün gefärbt, durchscheinend bis undurchsichtig und liegen eingewachsen im Quarz. Die Substanz des Berylls ist an sich farblos, die häufige grüne Färbung desselben rührt von einem kleinen Gehalte an Chrom her.

Die Kombinationskante $\infty P : 0\,P$ ist häufig abgestumpft durch die Flächen der Protopyramiden $o = P$ und $o^2 = 2\,P$ (Fig. 162), ferner

erscheint oft die Deuteropyramide $q = 2\,P\,2$ und nicht selten die zwölfseitige Pyramide $s = 3\,P\frac{3}{2}$.

Die Krystalle des gemeinen Berylls sind grünlichweiß oder gelb, trüb und oft rissig; sie finden sich im Granit bei Bodenmais, Ehrenfriedersdorf, Rosenbach in Schlesien. Armdicke Krystalle kommen zu Limoges vor, große Säulen, ähnlich den Basaltsäulen, zu Ponferata in Gallicien, und solche von 2 m Länge und $\frac{1}{3}$ m Dicke, bis 1500 kg schwer, bei Grafton in New-Hampshire. Anderseits finden sich kleine, aber vollkommen durchsichtige und wasserhelle edle Beryll e von großer Schönheit im Granit von Elba. Besonders wichtig ist die durchsichtige grüne Varietät, welche man als Smaragd bezeichnet. Dieser Edelstein wurde von jeher hoch geschätzt; nach Plinius sind Diamanten, Perlen und Smaragde die kostbarsten Juwelen. Die wichtigsten Fundorte sind das Tunkathal in Columbien, wo der Smaragd im Kalkstein und Thonschiefer in prächtigen aufgewachsenen Krystallen erscheint, und Takowaja bei Katherinenburg im Ural, wo er im Glimmerschiefer eingewachsen liegt. An letzterer Stelle finden sich Krystalle von beträchtlicher Größe (bis 40 cm lang und 25 cm dick). Außerdem kommen kleine Smaragde im Glimmerschiefer des Habachthales im Salzburgischen vor, welche indes oft nicht klar genug sind, um als Schmucksteine dienen zu können. Durchsichtige edle Berylle von weingelber, hellblauer, blassgrüner und blaugrüner Farbe kommen z. B. von Mursinsk bei Katherinenburg, von Takowaja und vom Aduntschilongebirge in Sibirien. Die hellblaugrünen (meergrünen) bezeichnet man als Aquamarin.

XIX.

Die rhomboedrische Hemiedrie. Kalkspat. Erscheinungen an Krystallen im polarisierten Lichte.

Schon im vorigen Kapitel wurde erwähnt, dass bei weitem die meisten hexagonal krystallisierenden Substanzen einer Hemiedrie oder Tetartoedrie unterliegen. Demnach spielt die teilflächige Ausbildung der Formen in diesem System eine besonders wichtige Rolle. Es sind hier, ebenso wie im quadratischen System, drei verschiedene Arten der Hemiedrie möglich, welche man als die rhomboedrische, die pyramidale und die trapezoedrische bezeichnet. Die rhomboedrische Hemiedrie entspricht der sphenoidischen, die pyramidale und die trapezoedrische der gleichnamigen Hemiedrie des quadratischen Systems. Am häufigsten tritt die rhomboedrische Hemiedrie auf, mit deren Besprechung wir beginnen.

Bei der rhomboedrischen Hemiedrie verschwinden diejenigen Flächen, welche in den abwechselnden, von der Haupt-Symmetrieebene und den drei primären Hauptschnitten gebildeten Räumen (Dodekanten oder Sextanten) liegen. Dabei bleiben, weil ihre einzelnen Flächen gleichzeitig in zwei oder mehreren benachbarten Sextanten liegen, die Deuteropyramiden, sowie sämtliche offene Formen äußerlich unverändert, eine Veränderung erleiden also nur die Protopyramiden und die zwölfseitigen Pyramiden.

Da die von der Hemiedrie betroffenen Krystallräume von der Haupt-Symmetrieebene und den primären Hauptschnitten gebildet werden, so haben diese Ebenen für die rhomboedrisch-hemiedrischen Formen ihre Bedeutung als Symmetrieebenen verloren; jene Formen sind also nur noch symmetrisch nach den drei sekundären Hauptschnitten.

Die zwölfseitigen Pyramiden (Fig. 163) verwandeln sich unter dem Einfluss der rhomboedrischen Hemiedrie in zwei kongruente, nur durch ihre Stellung verschiedene hexagonale Skalenoeder (Fig. 164, entsprechend den in Fig. 163 weiß gelassenen Flächen). Das eine dieser Skalenoeder ist gegen das andere um 60° um die Hauptachse gedreht. Man unterscheidet beide als positives und negatives Skalenoeder.

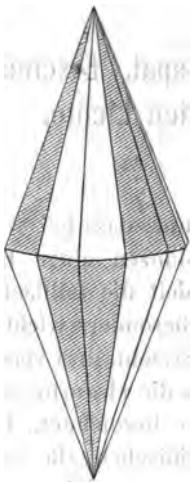


Fig. 163.

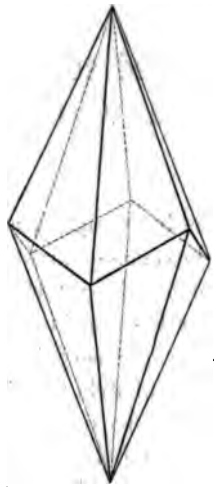


Fig. 164.

Die hexagonalen Skalenoeder werden von zwölf ungleichseitigen Dreiecken umschlossen. Sie besitzen sechs abwechselnd auf- und absteigende Randkanten, sowie sechs kürzere und schärfere neben sechs längeren und stumpferen Polkanten. Die Ecken sind zweierlei: zwei sechsflächige Polecken und sechs unregelmäßige vierkantige Randecken. Die Nebenachsen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Randkanten. Das krystallographische Symbol für diese Formen würde eigentlich sein $\pm \frac{mPn}{2}$, doch hat, wie wir weiter unten sehen werden, C. F. Naumann eine andere Bezeichnung eingeführt, deren auch wir uns im Folgenden bedienen wollen.

Dehnen sich bei einer Protopyramide (Fig. 165) die abwechselnden Flächen stärker aus, während die übrigen verschwinden, so entsteht ein Rhomboeder (Fig. 166, welche die in Fig. 165

weiß gelassenen Flächen zeigt). Aus jeder Protopyramide gehen wieder je nach der Wahl der bleibenden Flächen zwei Formen hervor, von welchen die eine gegen die andere um 60° gedreht ist, und die man als positives und negatives Rhomboeder unterscheidet.

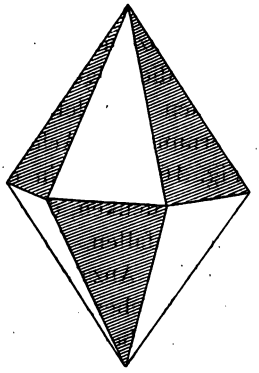


Fig. 165.

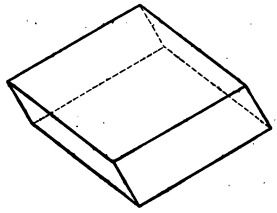


Fig. 166.

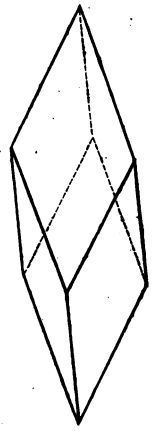


Fig. 167.

Jedes Rhomboeder wird von sechs Rhomben umschlossen; es besitzt sechs gleiche Polkanten und ebenso viele, abwechselnd auf- und absteigende Randkanten. Die Winkel einer Pol- und einer Randkante ergänzen sich zu 180°. Neben zwei dreikantigen Polecken finden sich sechs Randecken, welche von je zwei Randkanten und einer Polkante gebildet werden. Die Nebenachsen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Randkanten.

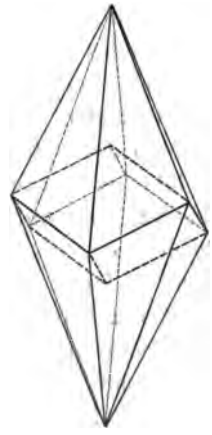


Fig. 168.

Die Rhomboeder sind entweder stumpfe oder spitze, je nachdem ihr Polkantenwinkel größer oder kleiner als 90° ist. Je näher dieser Winkel einem Rechten kommt, um so mehr gleicht das Rhomboeder äußerlich einem Würfel. Fig. 166 stellt ein stumpfes, Fig. 167 ein spitzes Rhomboeder dar.

Man könnte die Rhomboeder als hemiedrische Formen der Protopyramiden mit $\pm \frac{mP}{2}$ bezeichnen, giebt ihnen jedoch nach dem

Vorgange von Naumann das besondere Symbol $\pm mR$, indem man sie gewissermaßen als ursprüngliche Formen auffasst. Von der Grundpyramide P leiten sich also ab das positive Rhomboeder $+R$ (auch Hauptrhomboeder genannt) und das gegen jenes um 60° gedrehte negative $-R$ (Gegenrhomboeder), von der Pyramide $2P$ die beiden Rhomboeder $+2R$ und $-2R$ u. s. w.

Die Rhomboeder stehen nun zu den Skalenoedern in einer merkwürdigen Beziehung. Die Randkanten jedes einzelnen Rhomboeders haben nämlich genau dieselbe Lage wie diejenigen einer ganzen Reihe von Skalenoedern. Die Flächen der letzteren schneiden aber die Hauptachse in größerer Entfernung vom Achsenmittelpunkte. Demnach kann man sich, wie Fig. 168 zeigt, in ein jedes Skalenoeder ein Rhomboeder eingeschrieben denken, dessen Randkanten mit denjenigen des Skalenoeders zusammenfallen. Anderseits giebt es zu jedem Rhomboeder eine beliebige Anzahl umschriebener Skalenoeder. Während das eingeschriebene Rhomboeder durch die Lage seiner Randkanten vollständig bestimmt ist, da ja jede seiner Flächen durch zwei Randkanten geht, gilt dies natürlich von den umschriebenen Skalenoedern nicht. Bei diesen kann vielmehr der auf die Hauptachse bezügliche Koeffizient jeden beliebigen rationellen Wert haben, welcher größer ist, als der Koeffizient m des eingeschriebenen Rhomboeders.

Geht man von dem Rhomboeder mR aus, so kann man nach dem Gesagten ein Skalenoeder, dessen Randkanten mit denen des Rhomboeders gleiche Lage haben, dadurch bestimmen, dass man angiebt, wie viel mal so lang bei ihm die Hauptachse ist, als bei dem erwähnten Rhomboeder. Ist sie bei dem letzteren (mR) gleich $m \cdot c$, so sei sie bei dem Skalenoeder gleich $n \cdot m \cdot c$, also $n$mal so lang, und man kann das Skalenoeder durch das Symbol mRn bezeichnen, wobei man freilich nicht vergessen darf, dass der Koeffizient n sich nicht auf eine Nebenachse, sondern ebenso wie m auf die Hauptachse bezieht. Das Symbol mRn stellt also ein Skalenoeder dar, dessen Hauptachse $n$mal so lang ist, als diejenige des eingeschriebenen Rhomboeders mR.

Fig. 168 zeigt ein Skalenoeder, welches wir als positives betrachten wollen, nebst dem eingeschriebenen, natürlich ebenfalls positiven Rhomboeder. Nehmen wir das letztere als Hauptrhomboeder $+R$, so erhält das Skalenoeder, weil seine Hauptachse dreimal

so lang ist wie die des Rhomboeders, das Symbol $+R3$. Dabei ist $m = 1$.

Das ausgezeichnetste Beispiel einer rhomboedrisch krystallisierenden Substanz bildet der Kalkspat. An ihm treten z. B. auf die Rhomboeder $+R$, $-\frac{1}{2}R$, $-2R$, $+4R$, die Skalenoeder $+R2$, $+R3$, $+\frac{1}{4}R3$, $-\frac{1}{5}R3$ u. s. w.

Die offenen Formen $0P$ und ∞P erhalten, der dargelegten Bezeichnungsweise entsprechend, die Symbole $0R$ und ∞R. Man fasst sie nämlich als Rhomboeder auf, deren Hauptachse unendlich klein resp. unendlich groß ist.

Bei der Anführung der Symbole für die positiven Rhomboeder und Skalenoeder lässt man der Kürze halber gewöhnlich das Vorzeichen + weg und fügt nur bei den negativen das Vorzeichen — bei.

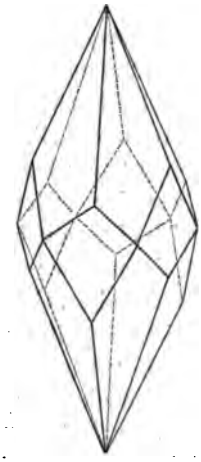


Fig. 171.

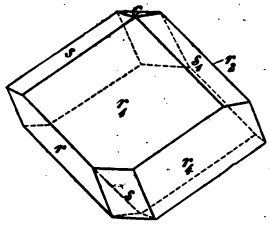


Fig. 169.

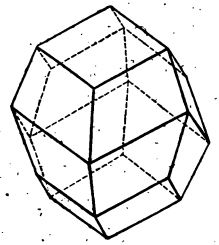


Fig. 170.

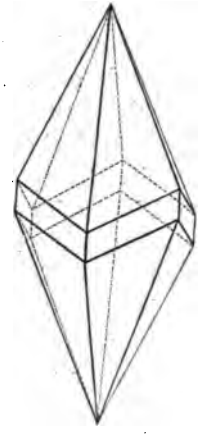


Fig. 172.

Einige Kombinationen rhomboedrischer Formen sind in Figur 169—172 dargestellt. In Fig. 169 sei r das Hauptrhomboeder R; seine Polkanten sind durch die Flächen s gerade abgestumpft, welche einem negativen Rhomboeder mit halb so langer Hauptachse, also $-\frac{1}{2}R$, angehören. Ganz allgemein werden die Polkanten eines Rhomboeders durch die Flächen eines solchen von entgegengesetzter Stellung und mit halber Hauptachsenlänge gerade abgestumpft. Die Polecken des Rhomboeders sind durch die Basis c abgestumpft. Fig. 170 zeigt ein Skalenoeder in Kombination mit einem Rhomboeder, und zwar würden die Randkanten des letzteren denjenigen

des Skalenoeders parallel gehen. Daraus folgt, dass das Rhomboeder das dem Skalenoeder eingeschriebene ist. Bezeichnen wir ersteres wieder als R, so erhält das Skalenoeder das Symbol $R\,3$. Wir haben hier eine Kombination der beiden in Fig. 168 enthaltenen Formen.

Die Randecken eines jeden Skalenoeders erfahren durch die Flächen des Protoprismas eine vertikale Abstumpfung (Fig. 171), während die Randkanten durch das Deuteroprisma $\infty P2$ gerade abgestumpft werden (Fig. 172). Ebenso stumpft das Deuteroprisma die Randkanten eines jeden Rhomboeders gerade ab.

Kalkspat. Dieses sehr häufige und oft in schönen Krystallen auftretende Mineral ist für die Entwicklung der Krystallographie von größter Bedeutung gewesen. René Just Hauy (1743—1822), einer der ersten Naturforscher seiner Zeit, besichtigte eines Tages bei Defrance in Paris eine Kalkspatdruse. Dabei brach ein Krystall in Form einer sechsseitigen Säule mit Basis ab, welcher eine Spaltungsfläche zeigte. Hauy nahm denselben mit und brachte durch weitere Spaltung zu Hause glücklich ein Rhomboeder heraus. Dadurch verfiel er auf den Gedanken, durch Aufschichtung kleiner Rhomboederchen, die er gleichsam als die Krystallmoleküle betrachtete, auf die Flächen der Spaltungsform die anderen Formen des Kalkspats abzuleiten. Mit Hilfe scharfsinniger Rechnungen führte er diesen Gedanken durch und wurde so der Vater der wissenschaftlichen Krystallographie, wenngleich dieselbe in späterer Zeit eine wesentlich andere Gestalt erhalten hat.

Doch nicht nur für die Erkenntnis des Zusammenhanges der verschiedenen Formen, sondern auch für das Studium der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Krystalle, wie der Spaltbarkeit, Härte, der optischen Erscheinungen, des Isomorphismus und Dimorphismus u. a., hat gerade der Kalkspat mit das wichtigste Material geliefert. Man hat deshalb wohl mit Recht gesagt, die Geschichte des Kalkspats sei die Geschichte der Mineralogie.

Die Krystalle des Kalkspats gehören zu den formenreichsten, welche man kennt. Man hat an denselben an 50 verschiedene Rhomboeder und mehr als 150 Skalenoeder beobachtet. Doch tritt nur eine verhältnismäßig kleine Zahl von Formen besonders häufig auf. Die Grundform, d. i. das Hauptrhomboeder R, kann man durch Spaltung leicht aus allen Krystallen erhalten, doch ist dasselbe merkwürdiger Weise als Krystallform ziemlich selten. Sein Polkantenwinkel misst $105^\circ\,5'$. Es ist in Fig. 166 dargestellt. Als gewöhn-

lichste Formen sind vor allen zu nennen das Protoprisma ∞R, die Basis $0R$, das sehr stumpfe negative Rhomboeder $-\frac{1}{2}R$ (Polkantenwinkel 135°), und das Skalenoeder $R3$ (Fig. 164), dann etwa noch das Deuteroprisma $\infty P2$, die spitzen Rhomboeder $-2R$ (Polkantenwinkel 79°) und $4R$ (66°), sowie die Skalenoeder $R2$ und $\frac{1}{4}R3$.

Als einige der wichtigsten Kombinationen seien erwähnt: $\infty R \cdot -\frac{1}{2}R$ mit vorherrschendem Prisma (Fig. 173a); $-\frac{1}{2}R \cdot \infty R$ mit vorherrschendem Rhomboeder (Fig. 173b); $\infty R \cdot 0R$ (Fig. 156); $0R \cdot \infty R$, durch Vorherrschen der Basis tafelartig; $-2R \cdot \infty P2$ (Fig. 173c); $-2R \cdot R$ (Fig. 173d); $R3 \cdot \infty R$ (Fig. 171); $R3 \cdot \infty P2$ (Fig. 172); $R3 \cdot \infty R \cdot -2R$ (Fig. 173e).

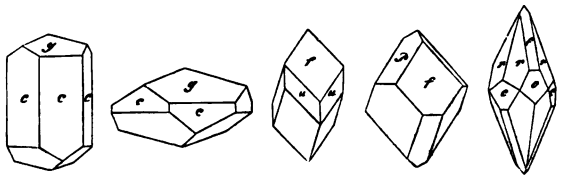


Fig. 173.

Nicht selten findet man Kalkspatkrystalle, welche an dem einen Ende der Hauptachse von anderen Flächen begrenzt sind als an dem anderen. So zeigen sie z. B. oben verschiedene Rhomboeder und Skalenoeder, während sie unten durch die Basis gleichsam wie abgeschnitten erscheinen. Auch eigentümliche Fortwachsungen, verbunden mit einem Wechsel der Form, werden manchmal beobachtet. Eine solche ist in Fig. 174 vorgeführt. Hinsichtlich des Wachstums dieses merkwürdigen Gebildes sind drei verschiedene Perioden zu unterscheiden. Zuerst entstand ein Kernkrystall, welcher die Form eines Skalenoeders $-\frac{1}{2}R4$ zeigt. Um dieses ursprüngliche Skalenoeder bildete sich dann unter anderen Bedingungen an der unteren Seite das Rhomboeder $-2R$, auf dessen seitlichen Ecken sich schließlich in der letzten Periode wieder zwei Fortwachsungen erhoben, welche eine Kombination des Skalenoeders $-\frac{1}{2}R4$ mit dem Rhomboeder $-2R$ darstellen. Der Krystall stammt aus

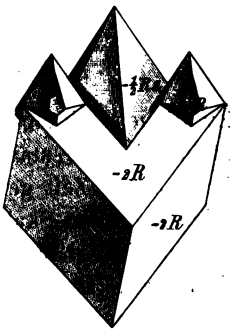


Fig. 174.

einer Druse des Melaphyrs von Oberstein und wurde von G. vom Rath abgebildet und beschrieben.

Die Figuren 175 und 176 zeigen zwei Gruppen von Kalkspatkrystallen, von welchen die ersteren eine sehr häufige, die anderen eine ganz ungewöhnliche Ausbildung besitzen. Die in Fig. 175 dargestellten hübschen Krystalle von Derbyshire weisen vorherrschend oder gar ausschließlich die Flächen des Skalenoeders $R3$ auf. Die Polecken desselben sind zuweilen durch die Flächen des Hauptrhomboeders dreiflächig zugespitzt (vergl. auch Fig. 170, welche dieselben Formen, jedoch gleich stark entwickelt zeigt). Eine Streifung der Skalenoederflächen geht den Randkanten und zugleich den Kombinationskanten $R3 : R$ parallel. Einzelne Krystalle, wie a, sind

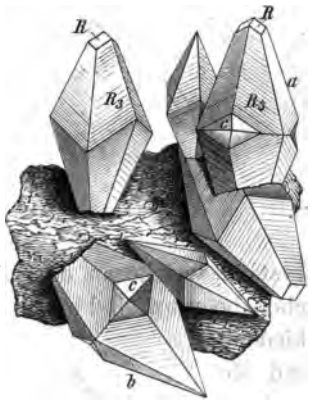


Fig. 175.

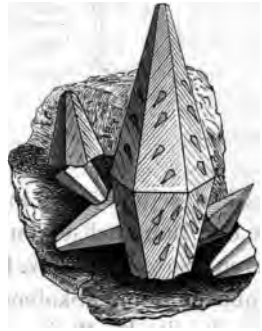


Fig. 176.

Zwillinge nach einem weiterhin zu besprechenden Gesetze. Die Krystalle Fig. 176 stammen von Rhisnes in Belgien, wo dieselben erst in jüngster Zeit gefunden wurden. Sie zeigen weder ein Rhomboeder noch ein Skalenoeder, sondern, was beim Kalkspat eine große Seltenheit ist, eine Deuteropyramide. Derselben kommt das Symbol $\frac{1}{3}^{6}\,P2$ zu. Ihre Flächen sind meist schief gestreift resp. mit kleinen Vertiefungen bedeckt, deren unsymmetrische Lage schon erkennen lässt, dass die Form der Krystalle nur scheinbar eine holoedrische ist.

Die Zwillingsbildung spielt beim Kalkspat eine besonders wichtige Rolle, und zwar findet man nicht nur häufig Zwillinge desselben, welche nach verschiedenen Gesetzen gebaut sind, sondern es ist sogar gelungen, künstlich durch Druck eine Verschiebung der Kalkspatteilchen in die Zwillingslage nach einem jener Gesetze herbei-

zuführen, also künstliche Zwillinge darzustellen. Man verfährt zu dem Zwecke am einfachsten folgendermaßen (Fig. 177). Man lege ein Spaltungsstück von Kalkspat (am besten von wasserhellem isländischem Doppelspat), welches durch Vorwalten von vier Rhomboederflächen die Form eines Prismas besitzt, mit einer der beiden längeren stumpfen Kanten horizontal auf einen Tisch, indem man bei *a* auf die gegenüber liegende, nach oben gekehrte Kante senkrecht dazu die Schneide eines gewöhnlichen Taschenmessers setzt, und drückt die Klinge allmählich in den Krystall hinein. Dann verschiebt sich in dem Maße, als das Messer eindringt, derjenige Teil des Krystalles, welcher zwischen jenem und der nach oben gekehrten Polecke (*f*) des Rhomboeders liegt. Das Stück *cef* der Fläche *fcde* nimmt allmählich die Lage *ceg* an und es bildet sich bei *ce* ein einspringender Winkel. Der verschobene Teil befindet sich nun zur übrigen Krystallmasse in Zwillingsstellung, und zwar nach einer Fläche, welche der Horizontalebene parallel geht. Dies ist aber eine Fläche, welche die stumpfe Kante des Spaltungsrhomboeders *R* gerade abstumpft, sie gehört also nach der Regel, welche wir früher kennen lernten, dem Rhomboeder $-\frac{1}{2}R$ an. Es sei noch bemerkt, dass man die vom Messer getroffene Stelle durch Abspalten leicht entfernen und so einen modellähnlichen Zwillingskrystall erhalten kann.

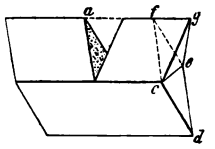


Fig. 177.

Das Zwillingsgesetz: »Zwillingsebene eine Fläche von $-\frac{1}{2}R$« findet sich nun in der Natur besonders häufig verwirklicht, jedoch haben die betreffenden Zwillinge selten die bei obigem Versuche erhaltene Form. In der Regel zeigen die Spaltungsstücke im allgemeinen noch die Form des Hauptrhomboeders, welches aber nach einer oder nach mehreren Flächen von $-\frac{1}{2}R$ von sehr dünnen Platten oder Lamellen der in Zwillingsstellung befindlichen Individuen durchsetzt ist. Diese Lamellen erzeugen auf je zwei gegenüberliegenden Flächen von *R* eine eigentümliche Streifung parallel der längeren Rhombendiagonale. Auch solche Lamellen kann man durch Druck künstlich hervorrufen, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass manche derselben, welche wir an Kalkspatkrystallen beobachten, auf einen in der Natur wirkenden Druck, dem die Krystalle ausgesetzt waren, zurückzuführen sind.

Eine sehr symmetrische Form zeigt der Kalkspat-Vierling

Fig. 178 von Hüttenberg in Kärnthen, dessen Bau ebenfalls dem Gesetze: »Zwillingsebene $-\frac{1}{2}R$« entspricht. Die vier mit einander verbundenen Individuen zeigen das Rhomboeder $-2R$. Die drei Individuen II, III und IV befinden sich zu dem mittleren I in symmetrischer Stellung nach je einer Fläche des Rhomboeders $-\frac{1}{2}R$, wobei sich I mit jedem der übrigen durchkreuzt.

Eine zweite Art der Zwillingsbildung, welche man beim Kalkspat häufig beobachtet, findet statt nach dem Gesetze: »Zwillingsebene die Basis«. Eine solche Zwillingsbildung ist bei der rhomboedrischen Hemiedrie deshalb möglich, weil die Basis bei derselben ihren Charakter als Symmetrieebene verloren hat. Die beiden mit einander verbundenen Individuen verhalten sich also wie Gegenstand und Spiegelbild, wobei die Basis der spiegelnden Fläche entspricht. Zu derselben gegenseitigen Stellung gelangt man auch, wenn man sich einen Kalkspatkrystall nach der Basis durchschnitten und die eine Hälfte gegen die andere um 60° um die Hauptachse gedreht denkt. Sehr schön beobachtet man diese Zwillingsbildung an manchen skalenoedrischen Krystallen der Form $R3$. Die in Fig. 175 abgebildete Gruppe weist zwei solche Zwillinge (mit *a* und *b* bezeichnet) auf. Die beiden Skalenoederhälften kehren an der Berührungsfläche einander die gleichartigen Polkanten zu, im Gegensatz zu dem einfachen Krystall, bei welchem unter einer stumpferen immer eine schärfere Polkante liegt. Ringsum am Rande sieht man, falls der Zwilling gleichmäßig ausgebildet ist, zwischen den schärferen Polkanten jedesmal zwei einspringende Kanten (Fig. 175 bei *c*), welche gleichfalls die Zwillingsbildung verraten.

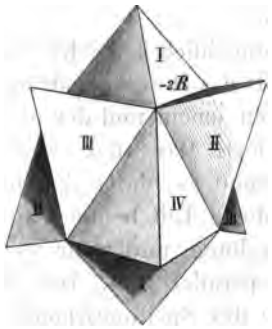


Fig. 178.

Die gleiche gegenseitige Stellung zweier rhomboedrischer Krystalle, wie sie dem Gesetze »Zwillingsebene $0R$« entspricht, ergiebt sich auch, wenn man sich die beiden Individuen zu einer Fläche des Protoprismas symmetrisch gerichtet denkt, wenn man also zur spiegelnden Ebene eine Fläche ∞R wählt. Letztere ist hier gleichfalls keine Symmetrieebene des einzelnen Krystalls mehr und kann demnach als Zwillingsebene auftreten. Das Gesetz »Zwillingsebene die Basis« fällt sonach mit dem anderen »Zwillingsebene eine Fläche

des Protoprismas« zusammen. Dennoch zeigt sich ein gewisser Unterschied darin, dass bei manchen Kalkspatzwillingen die beiden Individuen der zweiten Fassung des Gesetzes entsprechend nicht mit der Basis, sondern mit einer Fläche von ∞R verwachsen sind, oder doch nicht über einander, sondern neben einander liegen. Einen solchen Zwilling stellt Fig. 179 dar. Die beiden Krystalle zeigen die Kombination $\infty R \cdot -\frac{1}{2}R$. Man erkennt auf einer Prismenfläche deutlich die daselbst unregelmäßig verlaufende Zwillingsgrenze. Die Flächen des Rhomboeders sind gestreift nach ihrer kürzeren Diagonale, eine Streifung, welche bei $-\frac{1}{2}R$ sehr gewöhnlich ist. Auf den Flächen des Prismas hingegen bemerken wir zierliche flache polyedrische Erhöhungen, welche, der rhomboedrischen Hemiedrie entsprechend, oben anders gestaltet sind wie unten, und auf den benachbarten Prismenflächen des einzelnen Individuums ihre Spitze abwechselnd nach oben und nach unten kehren. Derartige Zeichnungen der Krystallflächen lassen manchmal schon deutlich erkennen, dass man es mit hemiedrischen Krystallen zu thun hat.

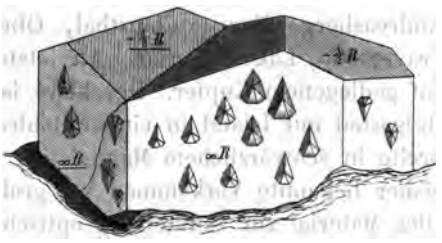


Fig. 179.

Die physikalischen Eigenschaften des Kalkspats wurden zum Teil schon früher erwähnt. So die Härte, welche den dritten Grad der Härteskala bildet, S. 29, die Doppelbrechung S. 37 u. f., die sehr vollkommene Spaltbarkeit nach R S. 38. Das spezif. Gewicht beträgt 2,72. Die Krystalle sind entweder farblos und wasserhell, wie namentlich die bekannten spätigen Stücke von Island (isländischer Doppelspat), oder weiß, grau, gelblich oder bräunlich gefärbt. Der Kalkspat besteht aus kohlensaurem Kalk $CaCO_3$, enthält jedoch meist noch geringe Beimengungen der isomorphen kohlensauren Magnesia $MgCO_3$ und von kohlensaurem Eisenoxydul $FeCO_3$. Während der kohlensaure Kalk in reinem Wasser so gut wie unlöslich ist, löst er sich in kohlensäurehaltigem Wasser in ziemlicher Menge auf. Kohlensäurehaltiges Wasser cirkuliert aber reichlich im Erdinneren, und dabei findet zugleich die Bildung einer Auflösung von kohlensaurem Kalk, welcher allgemein verbreitet vorkommt, statt.

Kommt eine solche Lösung mit der Luft in Berührung, so verflüchtigt sich allmählich die gelöste Kohlensäure, und das Wasser verliert die Fähigkeit, den kohlensauren Kalk aufzulösen. Dieser scheidet sich wieder aus und kann dabei, falls der Vorgang nicht zu rasch stattfindet, Krystallform annehmen. Es ist wohl gewiss, dass auf diese Weise die meisten Kalkspatkrystalle entstanden sind.

Der deutlich krystallisierte Kalkspat findet sich in Drusenräumen und auf Spalten aller Gebirgsformationen, besonders häufig aber in den, vorwiegend aus kohlensaurem Kalk bestehenden Kalkgebirgen. Die schönsten Krystalle kommen auf Erzgängen vor. Von den zahllosen Fundorten erwähnen wir als besonders wichtige: Andreasberg (Harz), Clausthal, Oberstein, Freiberg, Derbyshire, Traversella, Lake Superior. An letzterem Orte sitzen die Krystalle auf gediegenem Kupfer. Der klare isländische Doppelspat wird bei Helgastad auf Island in einem Hohlraum von 12 m Länge und 5 m Breite in schwärzlichem Mandelstein gefunden. Dies ist das einzige bisher bekannte Vorkommen von großen, klaren Stücken und liefert alles Material zur Herstellung optischer Instrumente (s. unten).

Außer in deutlichen Krystallen kommt der Kalkspat häufig in körnig-krystallinischen Massen vor, welche aus zahllosen einzelnen Individuen von unregelmäßiger Begrenzung bestehen, und als Marmor bezeichnet werden. Am berühmtesten ist der blendend-weiße carrarische Marmor, welcher sich auf der Westseite der apuanischen Alpen findet, und der parische, welcher etwas grobkörniger und nicht so blendend weiß ist. Die Insel Paros besteht wohl zu drei Vierteilen aus Marmor. Geht die körnige Struktur in eine dichte über, so gelangen wir zum Kalkstein, welcher überaus verbreitet ist und ganze Gebirge bildet. In den Höhlungen der Kalkgebirge begegnet man häufig mehr oder minder prächtigen Tropfsteinen, deren Bildung noch fortwährend stattfindet. Der kohlensaure Kalk löst sich zunächst in durchsickerndem kohlensäurehaltigem Wasser auf, welches dann im freien Raume die Kohlensäure und dadurch den kohlensauren Kalk wieder abgiebt. Jeder Tropfen setzt eine kleine Menge von Kalkspat ab, unzählige Tropfen hinterlassen einen hängenden Zapfen (Stalaktiten) oder bauen vom Boden her eine aufragende Spitze (Stalagmiten). Durch Vereinigung beider entstehen freistehende Säulen. Der Tropfstein zeigt sehr deutlich ein krystallinisches Gefüge. Manchmal bestehen die Zapfen aus einem einzigen Individuum, wie man an den leicht zu erhaltenden parallelen Spal-

tungsflächen nach *R* erkennen kann. Als berühmte Tropfsteinhöhlen sind bekannt die Baumanns- und Bielshöhle im Harz, die Dechenhöhle bei Iserlohn, die Adelsberger Grotte bei Triest, die Mammuthöhle in Kentucky.

Der Kalkspat bildet das wichtigste Glied einer isomorphen Mineralgruppe. Zu derselben gehören Magnesit ($MgCO_3$), Dolomit ($CaCO_3$ mit $MgCO_3$, bildet im körnigen bis dichten Zustande ganze Gebirgsmassen, welche sich durch kühne Felsbildungen und ihren Reichtum an Höhlen auszeichnen), Zinkspat ($ZnCO_3$), Manganspat ($MnCO_3$), Eisenspat ($FeCO_3$). Es würde uns zu weit führen, auf dieselben näher einzugehen, doch sei bemerkt, dass sich ihre Krystalle von denjenigen des Kalkspats im allgemeinen wesentlich dadurch unterscheiden, dass an denselben das Hauptrhomboeder meist als die vorherrschende Form erscheint.

Erscheinungen an Krystallen im polarisierten Lichte.

Wir haben schon früher den isländischen Doppelspat als das vortrefflichste Material zur Beobachtung der Doppelbrechung kennen gelernt. Wir sahen, dass ein jeder in ein solches von den Flächen des Hauptrhomboeders begrenztes Spaltungsstück eintretender Lichtstrahl in zwei Strahlen zerlegt wird, bei welchen die Ätherteilchen in zwei zu einander senkrechten Richtungen schwingen, und zwar geschehen diese Schwingungen bei dem ordentlichen Strahl stets senkrecht zur Hauptachse *c*, bei dem außerordentlichen hingegen stets in dem Hauptschnitte, welcher durch den betreffenden Strahl und die Hauptachse gelegt ist. Nur in dem einen Falle, wo ein Lichtstrahl parallel der Hauptachse durch den Kalkspat geht, findet keine doppelte Brechung statt, weil dann die Schwingungen beider Strahlen senkrecht zur Hauptachse geschehen, die Strahlen sich also mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen müssen. Der ordentliche und der außerordentliche Strahl stellen polarisiertes, d. h. aus parallelen Schwingungen bestehendes Licht dar; sie sind senkrecht zu einander polarisiert. Nun hat man aber ein Mittel gefunden, um aus dem Kalkspat nur einen der beiden Strahlen austreten zu lassen, also polarisiertes Licht einer Art zu erhalten. Der betreffende kleine Apparat, womit dies geschieht, ist das nach seinem Erfinder benannte Nicol'sche Prisma. Ein solches wird

aus einem länglich-prismatischen Spaltungsstück von Doppelspat (Fig. 180 a) auf folgende Weise hergestellt. Man schleift die beiden gegenüberliegenden kleinsten Flächen so ab, dass an ihre Stelle zwei neue mit den ursprünglichen und 0 *R* in einer Zone liegende Flächen treten, welche um 3° weniger steil gegen die Hauptachse geneigt sind. Hierauf schneidet man das Prisma nach einer Ebene durch, welche zu der kurzen Diagonale jener Flächen senkrecht steht, und kittet die beiden so erhaltenen Stücke mit Kanadabalsam wieder zusammen (Fig. 180 b, wo die Schnittfläche senkrecht zur Ebene der Zeichnung steht und durch eine doppelte Linie dargestellt ist). Das Prisma wird darauf in Kork befestigt und in eine Metallhülse gefasst, so dass nur die beiden kleinen Flächen zum Hindurchsehen frei bleiben. Ein Strahl *L*, welcher in das Prisma eindringt, wird in zwei Strahlen zerlegt, wovon der eine, ordentliche *o* an der Schicht von Kanadabalsam, weil er sehr schräg auf dieselbe auffällt, zur Seite zurückgeworfen wird, während der außerordentliche Strahl *e* in der Richtung *LE* durch das Prisma hindurchgeht. Die Schwingungen dieses Strahls finden innerhalb resp. parallel zu dem, durch die kürzeren Diagonalen der freien Flächen des Prismas gehenden Hauptschnitte statt, welchen man als Nicol-Hauptschnitt bezeichnet (in Fig. 180 b parallel der Ebene der Zeichnung). Man sagt auch wohl, der außerordentliche Strahl schwinge parallel der kürzeren Diagonale des Prismas.

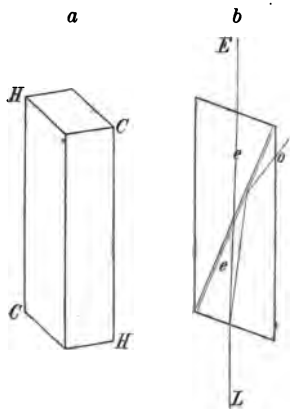


Fig. 180.

Hält man ein Nicol'sches Prisma gegen den hellen Himmel oder eine weiße Fläche und sieht hindurch, so nimmt man keine Veränderung der Helligkeit wahr, wenn man auch das Prisma um seine Längsachse ganz herumdreht. Das Auge wird dabei natürlich stets von polarisiertem Lichte getroffen. Desgleichen hat man Helligkeit, wenn man durch zwei in paralleler Stellung hinter einander befindliche Nicols hindurchsieht, denn ein aus dem ersten kommender außerordentlicher Strahl geht unverändert durch den zweiten hindurch. Dreht man aber den zweiten Nicol gegen den ersten um 90°, sodass beide eine gekreuzte Stellung haben, so bemerkt man beim

Hindurchsehen Dunkelheit. Das aus dem ersten kommende Licht entspricht in dem zweiten seiner Schwingungsrichtung nach nicht mehr dem außerordentlichen, sondern dem ordentlichen Strahl, wird also hier von der Kanadabalsamschicht zurückgeworfen. Bilden die Nicol-Hauptschnitte einen kleineren Winkel als 90°, so erscheint eine mittlere Helligkeit, weil die aus dem ersten Nicol kommenden Strahlen im zweiten eine doppelte Brechung resp. Zerlegung erleiden und dementsprechend nur zum Teil durchgelassen werden. Besondere Erscheinungen zeigen sich nun, wenn man dünne durchsichtige Krystallplättchen zwischen die beiden Nicols bringt. Um solche Erscheinungen bequemer und besser beobachten zu können, setzt man die Nicols mit einem Mikroskop in Verbindung. Der erste, Polarisator genannt, wird unter dem Tisch des Mikroskops angebracht, der zweite, welchen man als Analysator bezeichnet, über dem Ocular, also zunächst dem Auge. Bei dieser Einrichtung gelangt das Licht nach der Zurückwerfung an dem Erleuchtungsspiegel des Mikroskops in parallelen Strahlen durch den Polarisator in die Krystallplatte. Man betrachtet die letztere demnach im parallelen polarisierten Lichte. Kreuzt man nun vorher die beiden Nicols, stellt also das Mikroskop auf Dunkel, und legt dann auf den Tisch desselben eine Platte eines durchsichtigen amorphen Körpers (etwa von Glas) oder eines Krystalles, welcher dem regulären System angehört, so bleibt das Gesichtsfeld dunkel, auch wenn man die Platte um die Achse des Mikroskops dreht. Denn weil die Platte das Licht einfach bricht, erleidet der aus dem Polarisator kommende Strahl in derselben ebenso wenig eine Änderung seiner Schwingungsrichtung, als wenn er durch Luft geht, wird also vor wie nach vom Analysator nicht durchgelassen. Gehört aber die Platte einem Krystall an, welcher nicht regulär, also auch nicht einfach-, sondern doppeltbrechend ist, so erscheint dieselbe zwischen gekreuzten Nicols bei der Drehung im allgemeinen abwechselnd hell und dunkel. Demnach haben wir in der besprochenen Vorrichtung ein vorzügliches Mittel, um einfachbrechende und doppeltbrechende Krystalle zu unterscheiden.

Sehen wir zunächst, warum eine doppeltbrechende Krystallplatte zwischen gekreuzten Nicols abwechselnd hell und dunkel erscheint, und betrachten dann das Verhalten quadratischer und hexagonaler Krystalle im Besonderen! Eine Aufhellung der doppeltbrechenden Platte wird immer dann eintreten, wenn die Schwin-

gungsrichtungen der beiden durch die Doppelbrechung in der Platte entstehenden Strahlen gegen die Nicolhauptschnitte schief liegen. In einem solchen Falle wird nämlich ein aus dem Polarisator kommender Strahl, weil seine Schwingungsrichtung mit keiner von den in der Platte möglichen zusammenfällt, in dieser in zwei Strahlen zerlegt. Jeder derselben erleidet in dem Analysator, da seine Schwingungen schief zu dessen Hauptschnitt geschehen, wiederum eine doppelte Brechung. Von den nun vorhandenen vier Strahlen schwingen zwei senkrecht zum Hauptschnitt des Analysators, werden also nicht durchgelassen; die anderen beiden aber schwingen parallel zum Hauptschnitte, gehen also hindurch. Hierdurch wird Helligkeit erzeugt.

Dreht man nun die Platte, so wird jedesmal dann Dunkelheit eintreten, wenn die Schwingungsrichtung des aus dem Polarisator austretenden Strahles mit einer Schwingungsrichtung der Krystallplatte zusammenfällt, er also in letzterer keine Doppelbrechung erleidet. Die Platte gestattet ihm vielmehr ungestörten Durchgang, worauf er im Analysator ausgelöscht wird. Da die Schwingungsrichtungen einer doppeltbrechenden Platte auf einander senkrecht stehen, so folgt, dass jedesmal wieder nach einer Drehung um 90°, also bei einer ganzen Umdrehung viermal, Dunkelheit eintreten muss. Hierbei gehen die Schwingungsrichtungen der Platte den beiden Nicol-Hauptschnitten parallel. Man bezeichnet deshalb die Schwingungsrichtungen der Krystallplatte auch als ihre Auslöschungsrichtungen.

Bei der Hellstellung zwischen gekreuzten Nicols erscheinen aber die dünnen doppeltbrechenden Platten, wenn auch weißes Licht in den Polarisator eintritt, nicht farblos (oder in ihrer Eigenfarbe), sondern sie zeigen schöne Farben, welche man Interferenzfarben nennt. Stellt man die Nicols parallel, so bemerkt man ebenfalls Farben, und zwar zeigt eine solche Platte zwischen parallelen Nicols die komplementäre Farbe zu derjenigen, die sie zwischen gekreuzten aufweist (Rot im Gegensatz zu Grün, Blau zu Gelb, Violett zu Orange). Die Art dieser Farben hängt in jedem einzelnen Falle von dem Brechungsvermögen und der Dicke der Platte, sowie von der Richtung ab, in welcher dieselbe dem Krystall entnommen wurde. Die Interferenzfarben entstehen dadurch, dass gewisse Bestandteile des bekanntlich aus den Regenbogenfarben zusammengesetzten weißen Lichtes ausgelöscht werden, wodurch die

übrigbleibenden als solche hervortreten. Die Auslöschung oder Interferenz gewisser Farben wird hier durch die Doppelbrechung und Polarisation der Strahlen ermöglicht, doch würde es uns zu weit führen, wollten wir des Näheren auf diesen Punkt eingehen. Es sei noch bemerkt, dass die Platte, wenn sie Farben zeigen soll, um so dünner sein muss, je stärker die darin stattfindende Doppelbrechung ist, je mehr also die beiden Brechungsquotienten von einander abweichen. Dünne Platten von Gyps und Glimmer, dickere von Quarz zeigen die Farben sehr schön.

Hinsichtlich der hexagonalen oder quadratischen Krystalle besprechen wir nun die drei Fälle, wo eine aus ihnen hergestellte, zwischen gekreuzten Nicols zu betrachtende Platte entweder parallel zur Basis (also senkrecht zur Hauptachse) oder parallel zu einer Prismenfläche oder endlich nach einer Pyramidenfläche geschliffen ist.

1. Geht die Platte der Basis parallel, so erleidet das aus dem Polarisator kommende Licht, weil es parallel der Hauptachse hindurchgeht, in der Platte keine doppelte Brechung, trifft vielmehr unverändert den Analysator und wird in demselben ausgelöscht. Eine basische Platte eines hexagonalen oder quadratischen Krystalles zeigt also zwischen gekreuzten Nicols Dunkelheit und behält dieselbe auch bei einer ganzen Umdrehung bei.

2. Ist die Platte einer Prismenfläche parallel, so erscheint sie jedesmal dunkel, wenn die Richtung einer Prismenkante (oder auch der Kombinationskante mit der Basis) einem Nicol-Hauptschnitt parallel geht. Ihre Schwingungs- oder Auslöschungsrichtungen liegen also parallel und senkrecht zur Hauptachse. In jeder Zwischenstellung erscheint die Platte natürlich hell. Der aus dem Polarisator kommende Strahl wird in der Auslöschungslage von der Platte unverändert durchgelassen, bei der Hellstellung hingegen in zwei Strahlen zerlegt, welche ihre Schwingungen parallel und senkrecht zur Hauptachse ausführen.

3. Geht die Platte einer Pyramidenfläche parallel, so tritt Dunkelheit ein, wenn die zugehörige Randkante der Pyramide oder die dazu senkrechte Richtung in der Fläche mit einem Nicol-Hauptschnitt zusammenfällt. Denn diese beiden Richtungen entsprechen den Schwingungsrichtungen der Platte. Eine Rhomboederfläche zeigt Auslöschung nach ihren beiden Diagonalen, welche jenen Richtungen bei der holoedrischen Pyramide entsprechen.

Außer im parallelen untersucht man die doppeltbrechenden Krystallplatten auch im konvergenten polarisierten Lichte, wobei dieselben also von einem Strahlenkegel getroffen werden. Um das parallele Licht in konvergentes zu verwandeln, bringt man über dem Polarisator mehrere konvexe Linsen an. Die konvergierenden Strahlen gehen aus denselben in die Platte und aus dieser wieder in mehrere über derselben befindliche Konvexlinsen über, bis sie endlich in den Analysator gelangen. Kreuzt man die Nicols und legt auf den Tisch des Instrumentes eine Platte eines quadratischen oder hexagonalen Krystalles, welche parallel zur Basis, also senkrecht zur optischen Achse geschliffen ist, so bemerkt man beim Hineinblicken statt der Dunkelheit eine Interferenzfigur, welche aus einem schwarzen Kreuze und konzentrischen farbigen Ringen besteht (Fig. 181 a). Die Balken des Kreuzes sind den beiden Nicol-

Fig. 181.

Hauptschnitten parallel, also senkrecht zu einander. Man bezeichnet diese Figur, auf deren Entstehung wir hier nicht näher eingehen können, als das optische Achsenbild. Stellt man die beiden Nicols parallel, so ist die Figur verändert; man bemerkt statt des dunklen ein helles Kreuz, und die Ringe zeigen die zu den vorigen komplementären Farben (Fig. 181 b). Dreht man die Platte in ihrer Ebene, so bleiben die Interferenzfiguren unverändert.

Im Widerspruch mit der angegebenen Regel lassen manche Krystalle, welche ihrer Form nach dem regulären System angehören, im Polarisationsmikroskop untersucht eine stärkere oder schwächere doppelte Lichtbrechung erkennen, indem die aus ihnen hergestellten Platten zwischen gekreuzten Nicols in gewissen Stellungen hell, in anderen dunkel erscheinen und Interferenzfarben zeigen. Ebenso verhalten sich manche Krystalle, welche dem quadratischen

oder hexagonalen System angehören, abweichend von der angegebenen Norm auch in der Richtung der Hauptachse doppeltbrechend, wie man an Platten beobachten kann, welche senkrecht zu dieser Achse geschliffen sind. Solche Krystalle bezeichnet man, weil ihr optisches Verhalten eine Regelwidrigkeit zeigt, als optisch anomal. Zu den optisch anomalen Krystallen gehören z. B. diejenigen des Boracits, die meisten des Alauns, viele des quadratischen Apophyllits.

Die optischen Anomalien sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Beim Boracit erklärt sich die starke Doppelbrechung aus der uns schon bekannten Thatsache, dass seine Krystalle bei gewöhnlicher Temperatur dem rhombischen, und erst in höherer, bei welcher sie einfachbrechend werden, dem regulären System angehören. Es ist also hier der, wenn auch äußerlich nicht erkennbare Dimorphismus der Boracitsubstanz die Ursache des scheinbar anomalen Verhaltens (vergl. S. 138).

Den Übergang des Boracits aus dem rhombischen in das reguläre System beobachtete zuerst E. Mallard. Derselbe betrachtete nach einander eine Reihe von Platten, welche nach verschiedenen Richtungen aus Boracitkrystallen geschliffen waren, zwischen gekreuzten Nicols im parallelen polarisierten Lichte, wobei gleichzeitig eine Vorrichtung zum Erhitzen der Platten angebracht war. Die Platten zeigen bei gewöhnlicher Temperatur in der Hellstellung mehrere scharf abgegrenzte Felder mit verschiedenen Interferenzfarben; diese Felder entsprechen den verschiedenen zwillingsartig verbundenen Teilen der Boracitkrystalle (vergl. Fig. 102). Außerdem treten häufig in einem solchen Felde schmale Streifen von der Farbe eines anderen Feldes auf, welche von dünnen Zwillingslamellen des betreffenden anderen Individuums herrühren. Werden nun die Platten erhitzt, so vermehren sich zunächst diese Zwillingslamellen, indem eine große Zahl solcher Streifen von außerordentlicher Feinheit zu den vorhandenen hinzutritt. Die Platten bestehen schließlich nur mehr aus einem Gewirre solcher Lamellen. Da, bei 265° C., bietet sich plötzlich eine ganz neue Erscheinung dar: von der Stelle aus, wo die Platte sich zuerst erhitzt, sieht man Dunkelheit eintreten und sich rasch über die ganze Platte verbreiten, gleichsam als ob ein Tropfen Tinte über dieselbe liefe. Jetzt ist die Platte einfachbrechend geworden, und sie bleibt es auch bei weiterer Steigerung der Temperatur. Umgekehrt, bei der Abkühlung unter 265°,

treten ebenso plötzlich wieder die Interferenzfarben auf. Da die verschiedenen Platten sich in dieser Beziehung alle gleich verhalten, so ist bewiesen, dass der Boracit bei einer Temperatur über 265° in der That dem regulären Krystallsystem angehört.

Beim gewöhnlichen Alaun hat sich gezeigt, dass ganz reine Krystalle dieses Salzes nicht doppeltbrechend sind, wohl aber solche, denen eine geringe Menge eines anderen (isomorphen) Alauns beigemischt ist. Man nimmt an, dass die in solchen Krystallen neben einander liegenden Moleküle der verschiedenen Substanzen sich in der Weise beeinflussen, dass unter Störung ihrer normalen Lage ein gewisser Spannungszustand entstehe, welcher sich durch die Doppelbrechung zu erkennen giebt. Beim Apophyllit nimmt man gleichfalls eine Spannung innerhalb der Krystallmasse als die Ursache der Doppelbrechung in der Richtung der Hauptachse an. Man schließt aus gewissen Beobachtungen, es habe sich bei der Entstehung der Krystalle zuerst ein sogen. Krystallskelet gebildet, in dessen Zwischenräumen sich später die übrige Substanz abgelagert habe; dieses ungleichmäßige Wachstum hat eine Spannung der Krystallsubstanz und damit deren optisch anomales Verhalten zur Folge. Bei den letzteren Erklärungen stützt man sich auf die Erfahrung, dass einfachbrechende Substanzen, sowohl amorphe Körper, wie Glas, als auch Krystalle des regulären Systems durch einen einseitig auf sie ausgeübten Druck, welcher ja auch einen Zustand der Spannung hervorruft, für die Dauer des Druckes doppeltbrechend gemacht werden können. Indes ist zu bemerken, dass man auch noch andere Erklärungen für die optischen Anomalien, wie sie am Alaun und Apophyllit beobachtet werden, gegeben hat, und dass die Untersuchung dieser Erscheinungen bei manchen Krystallen noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden kann.

XX.

Korund (Sapphir, Rubin), Eisenglanz, Turmalin. Hemimorphie.

Als fernere wichtige Beispiele der rhomboedrischen Hemiedrie besprechen wir Korund, Eisenglanz und Turmalin.

1. Der **Korund**, welcher aus Aluminiumoxyd Al_2O_3 besteht, zeigt manchmal die Kombination des Hauptrhomboeders R (Polkantenwinkel 86° 6′) mit der Basis, oder des Deuteroprismas $\infty P2$ mit $0R$, wozu dann noch R, die abwechselnden Ecken abstumpfend, hinzutritt. Besonders aber zeichnet er sich aus durch das häufige Auftreten verschiedener Deuteropyramiden, wie $\frac{4}{3}P2$, $\frac{8}{3}P2$, $4P2$ u. a. Oft erscheinen die sechsseitigen Säulen ($\infty P2 \cdot 0R$) fassähnlich, was namentlich darauf beruht, dass sich zu $\infty P2$ eine Reihe von Deuteropyramiden gesellt, deren Flächen, in schmalen Streifen auf einander folgend, sich nach der Basis hin immer mehr von der Lage des Deuteroprismas entfernen. Häufig finden sich Zwillinge, bei welchen meist in ein Hauptindividuum zahlreiche Lamellen eingelagert sind, welche sich zu jenem nach einer Fläche von R in Zwillingsstellung befinden.

Die Härte des Korunds (= 9) wird nur von der des Diamants übertroffen und von keinem anderen Mineral erreicht. Deshalb verwendet man die geringeren Sorten (Smirgel) in gestoßenem Zustande als Schleifmaterial. Aus demselben Grunde benutzt man Korund resp. die als Rubin bezeichnete Varietät zu Zapfenlagern für die Spindeln feiner Uhren. Das spezif. Gewicht beträgt etwa 4. Mit Rücksicht auf die verschiedene Färbung und den Grad der Durchsichtigkeit unterscheidet man folgende Varietäten:

a) den als Edelstein geschätzten, durchsichtigen edlen Korund, selten farblos, meist gefärbt; der rote wird Rubin, der blaue Sapphir genannt. Fig. 182 giebt einen hübschen, wenn auch weniger klaren Krystall von Rubin in ungefähr natürlicher Größe in der Richtung der Hauptachse gesehen wieder. Derselbe ist rosafarbig und zeigt vorherrschend $0R$ und $\frac{4}{3}P2$, dazu unvollzählig mit vier (in der Figur sichtbaren) ziemlich schmalen Flächen eine zweite, spitzere Deuteropyramide. Bei genauerer Betrachtung findet man noch zwei sehr schmale Flächen von R, welche zwei Polkanten von $\frac{4}{3}P2$ gerade abstumpfen (in der Figur nicht gezeichnet). Der Krystall sitzt auf körnigem weißen Dolomit vom Campo longo (Tessin). Die wertvollsten Rubine sind die dunkelfarbigen; vollkommen rein sind sie teurer als Diamanten. Beim Erhitzen zeigt der Rubin eine merkwürdige Farbenwandlung. Macht man nämlich kleine Krystalle glühend, was man dreist thun kann, da sie nicht zerspringen, so werden sie beim Erkalten farblos, dann grün, zuletzt wieder schön rot.

Fig. 182.

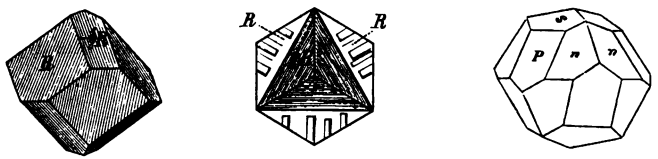
Als Fundorte sind namentlich zu nennen Hinterindien und Ceylon, woselbst der Rubin auf sekundärer Lagerstätte, im Schuttlande, in losen Krystallen und Körnern vorkommt. Auch Australien liefert schöne Rubine. Der blaue Sapphir findet sich mit Rubin zusammen; auf Ceylon ist er noch häufiger als dieser. Merkwürdig ist sein Vorkommen im Basalt am Rhein und an anderen Orten.

Der edle Korund zeigt übrigens auch noch andere Farben als Rot und Blau. Der violette wird von den Juwelieren als orientalischer Amethyst, der gelbe als orientalischer Topas bezeichnet.

b) Der gemeine Korund oder Diamantspat ist durchscheinend bis fast undurchsichtig, gelblich, grau oder braun gefärbt. Seine Krystalle finden sich in verschiedenen Gesteinen, wie im Granit, Gneiß, Glimmerschiefer, Kalkstein und Dolomit, am St. Gotthard, in Piemont, auf Ceylon, in Indien, bei Miask im Ilmengebirge. Besondere Erwähnung verdient das Vorkommen auf der Culsagee-Grube in Nord-Carolina, wo über 150 kg schwere Krystalle gefunden wurden. Der Smirgel, ein derber, körniger bis dichter Korund von

grauer, brauner oder blauer Farbe, kommt namentlich auf Naxos vor. In neuester Zeit gelang es den französischen Chemikern Fremy und Verneuil, künstliche, zwar kleine, aber sehr schön ausgebildete Korund- resp. Rubinkrystalle darzustellen, indem sie ein Gemenge von Thonerde mit Fluorcalcium und einer Spur Chromsäure — welche färbend wirkt — im Platintiegel bis zur höchsten, von einem Windofen gelieferten Temperatur erhitzten. Lacroix hat auf ähnliche Weise sogar Korundtafeln bis zu $\frac{1}{2}$ cm im Durchmesser erzielt.

2. Der **Eisenglanz**, bestehend aus Eisenoxyd Fe_2O_3, ist mit dem Korund isomorph. Zuweilen erscheint das würfelähnliche Hauptrhomboëder R (Polkantenwinkel 86°) selbständig, so namentlich an den Krystallen aus den Zinnsteingängen von Altenberg in Sachsen. Seine Flächen sind nach der langen Diagonale gestreift. Oft sind die Polkanten desselben durch die Flächen des negativen Rhomboeders $-\frac{1}{2}R$ gerade abgestumpft, und letztere sind dann wohl parallel den Kombinationskanten mit R gestreift. Einen solchen Krystall



a b c

Fig. 183.

von Syssertsk (Ural) zeigt Fig. 183 a. Auch an den prächtigen Krystallen aus dem körnigen Eisenglanz von Elba tritt das Haupt-Rhomboeder vorherrschend oder doch stark ausgedehnt auf. Dazu kommt gern ein stumpferes Rhomboeder $\frac{1}{4}R$, dessen Flächen eine starke horizontale Streifung tragen. Fig. 183 b stellt einen derartigen Krystall von oben, also in der Richtung der Hauptachse gesehen dar. (Die Flächen R tragen eine rechteckige Zeichnung). Ganz gewöhnlich ist aber an den elbaner Krystallen die Deuteropyramide $\frac{4}{3}P2$, kombiniert mit R und $\frac{1}{4}R$ (Fig. 183 c, wo $n=\frac{4}{3}P2$, $P=R$ und $s=\frac{1}{4}R$). Die Flächen von $\frac{4}{3}P2$ sind nach den vertikalen Kombinationskanten mit R gestreift. Oft werden die horizontalen Kombinationskanten $R:\frac{1}{4}R$ durch die Flächen des Rhomboeders $\frac{3}{5}R$, die vertikalen Kanten $R:\frac{4}{3}P2$ durch diejenigen eines Skalenoeders $\frac{2}{3}R3$ abgestumpft.

Eine schöne Gruppe von Eisenglanzkrystallen von Rio auf Elba

giebt Fig. 184 wieder. Dieselben zeigen die Kombination $0R \cdot R \cdot \frac{4}{3}P2$ und erscheinen tafelartig durch das Vorherrschen der ziemlich stark gewölbten Basis.

Eine andere Ausbildung zeigen die Eisenglanzkrystalle der Alpen (St. Gotthard, Mt. Rosa, Binnenthal), welche oft auf Bergkrystall sitzen oder gar von demselben umschlossen werden. Dieselben stellen verhältnismäßig dünne Tafeln mit ebener, wenn auch oft gestreifter Basis dar. Die Randflächen gehören vorzugsweise den Formen R, $-2R$, $\frac{4}{3}P2$ und $\infty P2$ an. Beachtenswert ist die ausgezeichnete dreiseitige Streifung der Basis. Dieselbe weicht von derjenigen der elbaner Krystalle dadurch ab, dass die Flächen von R hier nicht unter den Seiten, sondern unter den Ecken der gleichseitigen Dreiecke liegen, welche durch die dreifache Streifung auf der Basis gebildet werden.

Fig. 184.

Manchmal erscheinen die Eisenglanztafeln in rosettenförmiger Gruppierung. Solche Gebilde bezeichnet man als Eisenrosen. Fig. 185 stellt eine Eisenrose aus dem Granit des St. Gotthard dar.

Fig. 185.

Die Eisenglanztafeln vom Cavradi in Tavetsch sind sehr häufig mit rötlichen Rutilprismen bedeckt, welche sich zu jenen in gesetzmäßiger Lage befinden. Die Rutilprismen sind nämlich stets so angeordnet, dass ihre Hauptachse senkrecht zu einer Streifungsrichtung der Basis verläuft, und dass zwei Flächen des Deuteroprismas $\infty P\infty$ mit $0R$ des Eisenglanzes parallel gehen. Es kommt auch vor, dass die Rutilkrystalle in der angegebenen Stellung in den Eisenglanz eingesenkt sind.

Die oft schön ausgebildeten Eisenglanzkrystalle sind eisen-

schwarz bis stahlgrau, undurchsichtig und metallglänzend, häufig schön bunt angelaufen. Ihr Strich ist kirschrot bis braunrot. Härte = 5,5—6,5; spez. Gewicht = 5,2. Manchmal erscheint der Eisenglanz auch in dünnen, gleichfalls stark glänzenden Blättchen, welche wegen ihrer geringen Dicke rötlich durchscheinen. Man bezeichnet dieses Vorkommen als Eisenglimmer. Die feinkrystallinischen bis dichten Varietäten von braunroter bis stahlgrauer Farbe endlich werden Roteisenerz genannt. Das Roteisenerz tritt als sog. roter Glaskopf in faserigen Massen von traubiger oder tropfsteinartiger Form auf, oft auch keilförmig gestaltet, mit mehr oder weniger ebenen, metallisch glänzenden Flächen, welche jedoch keine Krystall-, sondern sogen. Absonderungsflächen sind.

Häufig bildet unser Mineral Pseudomorphosen nach Schwefelkies, Eisenspat, Flussspat, besonders schön aber nach Kalkspat. So findet man bei Iserlohn große und prächtige Skalenoeder, welche sich unter Beibehaltung der charakteristischen Form $R3$ des Kalkspats in Eisenoxyd verwandelt haben. Über das Vorkommen von Eisenglanz auf der Lava vergl. S. 75.

3. **Turmalin.** Eine Linie, welche man sich in einem Krystall senkrecht zu einer Symmetrieebene gezogen denkt, bezeichnet man als eine Symmetrieachse. Es giebt also in jedem Krystall so viele Symmetrieachsen, als es in demselben Symmetrieebenen giebt. Der Krystall ist an den beiden Enden einer Symmetrieachse gleich gestaltet, d. h. es treten an denselben die nämlichen Flächen und in derselben Anordnung und Ausbildung auf, vorausgesetzt natürlich, dass der Krystall regelmäßig gebaut und nicht durch Verzerrung oder zufälliges Ausfallen einzelner Flächen entstellt ist.

Gewisse Symmetrieachsen wiederholen sich an demselben Krystall, so die drei krystallographischen Achsen eines holoedrisch regulären Körpers; andere treten nur einzeln auf, wie die Hauptachse im quadratischen und hexagonalen System.

Man beobachtet nun bei den Krystallen mancher Substanzen, dass an den beiden Enden einer solchen einzeln vorhandenen Symmetrieachse die Flächen verschiedener Formen auftreten oder doch auftreten können, dass demnach jede die betreffende Achse schneidende Form nur mit der Hälfte ihrer Flächen ausgebildet zu sein braucht. Diese Erscheinung bezeichnet man als Hemimorphie (Hälftgestaltigkeit). Das Wesen der Hemimorphie liegt, ähnlich wie es bei der Hemiedrie der Fall

ist, weniger in dem wirklichen Fehlen der einen Formenhälfte, als vielmehr darin, dass die beiden Hälften hinsichtlich ihres Vorkommens an den betreffenden Krystallen gänzlich unabhängig von einander sind und so gewissermaßen zwei selbständige Formen darstellen. Es folgt aber hieraus, dass die betreffende Symmetrieachse, an deren beiden Seiten ja nun verschiedene Formen erscheinen können, hierdurch ihren Charakter als solche verloren hat, und dass dasselbe von der auf ihr senkrechten Symmetrieebene gelten muss. Diese Verhältnisse werden uns am Turmalin, welcher ein besonders wichtiges Beispiel für die Hemimorphie liefert, leicht klar werden.

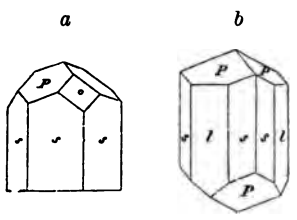


Fig. 186.

Der Turmalin zeigt außer der rhomboedrischen Hemiedrie Hemimorphie nach der Hauptachse. Fig. 186 stellt zwei gewöhnliche Kombinationen desselben dar. Die erste lässt die ungleiche Ausbildung an den beiden Enden der Hauptachse sofort erkennen. Während das obere Ende die Flächen $P = R$ und $o = -2R$ aufweist, erscheint das untere gerade abgeschnitten durch die Basis ohne jegliche Rhomboederflächen. Außer den genannten Formen tritt noch das Deuteroprisma $s = \infty P2$ auf. Es leuchtet ein, dass an einem solchen Krystall die Basis aus doppeltem Grunde keine Symmetrieebene mehr sein kann, einmal weil derselbe der rhomboedrischen Hemiedrie unterliegt (vgl. S. 195), dann aber auch — und darauf kommt es hier besonders an —, weil die Hauptachse, welche auf der Basis senkrecht steht, zur Achse der Hemimorphie geworden ist.

Besonders lehrreich ist die Kombination Fig. 186 b. Dieselbe zeigt an beiden Enden die Flächen des Haupt-Rhomboeders, entsprechend dem Umstande, dass die eine Formenhälfte nicht notwendig ausfallen muss. Doch sind die drei oberen Flächen R von den drei unteren gänzlich unabhängig. Interessant ist das Verhalten der Prismenflächen $l = \infty R$, indem dasselbe einen deutlichen Beweis dafür liefert, dass das Protoprisma hier als ein Rhomboeder mit unendlich langer Hauptachse aufzufassen ist. Ebenso nämlich, wie ein Rhomboeder infolge der Hemimorphie in eine obere und eine untere dreiflächige Hälfte zerfällt, von welchen eine fehlen

kann, zerfallen auch die Flächen des Protoprismas ∞R, welche abwechselnd als obere und untere betrachtet werden können, in drei obere und drei untere. An der Kombination Fig. 186 b erscheinen demgemäß nur drei abwechselnde Flächen des Protoprismas *l*, welche ein dreiseitiges (trigonales) Prisma bilden; es sind diejenigen, welche unter den oberen Haupt-Rhomboederflächen liegen. Die den unteren Rhomboederflächen entsprechenden sind ausgefallen.

Die Turmalinkrystalle sind stets säulenförmig, ihre Prismenflächen meist vertikal gestreift; häufig sind die Säulen gerundet. Die Krystalle erreichen zuweilen bedeutende Größe, sie können wohl armdick werden. Eine schöne Stufe von Hörlberg b. Bodenmais zeigt Fig. 187. Die darauf befindlichen Krystalle sind braunschwarz, undurchsichtig und zeigen die Flächen *R*, ∞R, $\infty P2$ und $0R$.

Die Härte beträgt 7, das spezifische Gewicht schwankt zwischen 2,94 und 3,24. Letzteres rührt von der sehr wechselnden chemischen Zusammensetzung des Turmalins her. Man kann die Formel desselben auf mehrere Molekule der sechsbasischen Kieselsäure

Fig. 187.

Fig. 188.

$H_6 Si O_5$ *) zurückführen, worin der Wasserstoff größtenteils durch *K*, *Na*, *Li*, *Mg*, *Fe*, *Mn*, *Ca*, sowie durch *Al* und *B* in verschiedenen Verhältnissen ersetzt ist. Mit dieser verschiedenartigen Zusammen-

*) Die Formeln der sehr zahlreichen und mannigfaltigen in der Natur vorkommenden kieselsauren Salze lassen sich von folgenden Grundformeln ableiten: 1. gewöhnliche vierbasische Kieselsäure $H_4 Si O_4$, 2. zweibasische Kieselsäure $H_2 Si O_3$, 3. sechsbasische Kieselsäure $H_6 Si O_5$. Meist müssen jedoch diese Formeln verdoppelt, verdreifacht u. s. w. und dabei manchmal noch mit einander kombiniert werden, will man davon die Gesamtformeln der betreffenden Substanzen herleiten.

setzung hängt auch die mannigfaltige Färbung der Turmaline zusammen. So giebt es farblose und gelbe (Elba, Imfeld im Binnenthal), rote, Rubellit genannt (Elba, Mursinsk, Penig in Sachsen), grüne und blaue (Brasilien), braune (Ceylon), endlich sehr verbreitet vorkommende schwarze, Schörl genannt. Ja, oft besteht ein Krystall aus Schichten verschiedener Färbung, indem sich an seinem Baue, auf einander folgend, verschiedene isomorphe Substanzen beteiligen, welche der allgemeinen Formel des Turmalins entsprechen. Man bezeichnet diese Erscheinung passend als isomorphe Schichtung. Die elbaner Krystalle zeigen oft diese Schichtung in ausgezeichneter Weise. So findet man blassgrüne Säulen mit blauem oder schwarzem Ende (Mohrenköpfe) oder solche mit grünem Kern und blassroter Hülle. Fig. 188, S. 221 stellt einen Mohrenkopf dar: an dem unteren abgebrochenen Ende ist derselbe dunkler grün gefärbt, doch wird die Farbe nach oben hin allmählich heller. Hierauf folgt eine fast farblose Schicht, welche zuletzt plötzlich in eine ganz dunkle Kappe übergeht.

Viele Turmalinkrystalle zeigen einen ausgezeichneten Dichroismus (vgl. S. 47). Beim Hindurchsehen parallel zur Hauptachse erblickt man immer eine dunklere Farbe oder Schwarz, während man in der dazu senkrechten Richtung eine andere Farbe wahrnimmt. Von den beiden durch die Doppelbrechung in einem stärker gefärbten, etwa grünen oder braunen Turmalinkrystalle entstehenden Strahlen wird der ordentliche viel stärker verschluckt (absorbiert) als der außerordentliche. Infolge dessen liefert eine aus einem solchen Krystalle parallel zur Hauptachse geschliffene, nicht zu dünne Platte (beim Hindurchsehen) ziemlich vollkommen polarisiertes Licht, indem fast nur solche Strahlen austreten, welche in der Richtung der Hauptachse schwingen. Hält man zwei solche Platten in paralleler Stellung hinter einander, so geht das aus der ersten kommende Licht ohne bedeutende Absorption auch durch die zweite. Kreuzt man aber die beiden Platten unter einem rechten Winkel, so wird das aus der ersten kommende Licht in der zweiten ausgelöscht, weil es nun in dieser dem ordentlichen Strahl entspricht. Zwei gekreuzte Turmalinplatten verhalten sich gegen durchgehendes Licht also ganz ähnlich wie zwei gekreuzte Nicolsche Prismen. Man hat sie deshalb auch in der Form einer sog. Turmalinzange benutzt, um an Krystallplatten, welche zwischen die beiden Platten geklemmt

werden, Interferenzerscheinungen zu beobachten. Doch stehen sie den Nicolschen Prismen schon deshalb weit nach, weil sie gefärbt sind und daher dem durchgelassenen polarisierten Lichte eine die Erscheinungen störende Färbung erteilen.

Mit der Hemimorphie der Turmalinkrystalle steht eine merkwürdige elektrische Eigenschaft derselben in engem Zusammenhange; es ist dies die sog. polare Thermo-Elektrizität. Die Krystalle zeigen nämlich, wenn sie erwärmt werden, und ebenso wenn sie sich wieder abkühlen, an den beiden Enden der Hauptachse freie Elektrizität. Während aber das eine Ende positiv elektrisch ist, weist das andere, der ungleichen krystallographischen Ausbildung entsprechend, negative Elektrizität auf. Bei der Abkühlung tritt die umgekehrte Verteilung der beiden Elektrizitäten ein wie beim Erwärmen. Diese Erscheinung wurde zuerst am Turmalin beobachtet, sie findet jedoch auch bei allen anderen Krystallen statt, welche eine hemimorphe Ausbildung besitzen. Der Turmalin erhielt sogar eine Bezeichnung, welche auf dieses Verhalten hindeutet. Die Holländer, welche ihn aus Ceylon — der Name Turmalin ist indischen Ursprungs — nach Europa mitbrachten, nannten denselben »Aschentrecker«, weil er die Kraft zeigte, die Torfasche auf der heißen Torfkohle anzuziehen und gleich darauf wieder abzustoßen, wie ja überhaupt elektrische Körper leichte Körperchen anziehen und alsbald wieder abstoßen. Linné nannte unser Mineral Lapis electricus. Übrigens werden die farbigen, klaren Krystalle, besonders diejenigen von Elba, viel stärker elektrisch als die schwarzen, rissigen.

Der Turmalin findet sich ein- und aufgewachsen in einer Reihe von Gesteinen, so im Granit, Gneiß, Glimmerschiefer, Dolomit u. a. Besonders bekannt ist sein Vorkommen im Granit bei Penig in Sachsen, im Tannebergsthal im Vogtlande, bei Sonnenberg im Harz, namentlich aber bei St. Piero auf Elba, ferner in silberweißem Glimmer bei Dobrowa (Unterdrauburg in Kärnthen), in Quarz eingewachsen bei Rozena in Mähren, im Dolomit bei Campo longo im Tessin. Weitere Fundorte sind: Ramfos in Snarum (Norwegen), Utö in Schweden, Mursinsk im Ural, Gouverneur (New-York). Die edleren, schön gefärbten Varietäten finden sich auch, wie andere Edelsteine, lose im Flusssande der Tropen, so auf Ceylon und in Brasilien. Solche Turmaline werden öfters zu Schmucksteinen verschliffen.

ist, weniger in dem wirklichen Fehlen der einen Formenhälfte, als vielmehr darin, dass die beiden Hälften hinsichtlich ihres Vorkommens an den betreffenden Krystallen gänzlich unabhängig von einander sind und so gewissermaßen zwei selbständige Formen darstellen. Es folgt aber hieraus, dass die betreffende Symmetrieachse, an deren beiden Seiten ja nun verschiedene Formen erscheinen können, hierdurch ihren Charakter als solche verloren hat, und dass dasselbe von der auf ihr senkrechten Symmetrieebene gelten muss. Diese Verhältnisse werden uns am Turmalin, welcher ein besonders wichtiges Beispiel für die Hemimorphie liefert, leicht klar werden.

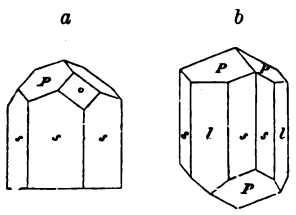


Fig. 186.

Der Turmalin zeigt außer der rhomboedrischen Hemiedrie Hemimorphie nach der Hauptachse. Fig. 186 stellt zwei gewöhnliche Kombinationen desselben dar. Die erste lässt die ungleiche Ausbildung an den beiden Enden der Hauptachse sofort erkennen. Während das obere Ende die Flächen $P = R$ und $o = -2R$ aufweist, erscheint das untere gerade abgeschnitten durch die Basis ohne jegliche Rhomboederflächen. Außer den genannten Formen tritt noch das Deuteroprisma $s = \infty P2$ auf. Es leuchtet ein, dass an einem solchen Krystall die Basis aus doppeltem Grunde keine Symmetrieebene mehr sein kann, einmal weil derselbe der rhomboedrischen Hemiedrie unterliegt (vgl. S. 195), dann aber auch — und darauf kommt es hier besonders an —, weil die Hauptachse, welche auf der Basis senkrecht steht, zur Achse der Hemimorphie geworden ist.

Besonders lehrreich ist die Kombination Fig. 186 b. Dieselbe zeigt an beiden Enden die Flächen des Haupt-Rhomboeders, entsprechend dem Umstande, dass die eine Formenhälfte nicht notwendig ausfallen muss. Doch sind die drei oberen Flächen R von den drei unteren gänzlich unabhängig. Interessant ist das Verhalten der Prismenflächen $l = \infty R$, indem dasselbe einen deutlichen Beweis dafür liefert, dass das Protoprisma hier als ein Rhomboeder mit unendlich langer Hauptachse aufzufassen ist. Ebenso nämlich, wie ein Rhomboeder infolge der Hemimorphie in eine obere und eine untere dreiflächige Hälfte zerfällt, von welchen eine fehlen

kann, zerfallen auch die Flächen des Protoprismas ∞R, welche abwechselnd als obere und untere betrachtet werden können, in drei obere und drei untere. An der Kombination Fig. 186 b erscheinen demgemäß nur drei abwechselnde Flächen des Protoprismas l, welche ein dreiseitiges (trigonales) Prisma bilden; es sind diejenigen, welche unter den oberen Haupt-Rhomboederflächen liegen. Die den unteren Rhomboederflächen entsprechenden sind ausgefallen.

Die Turmalinkrystalle sind stets säulenförmig, ihre Prismenflächen meist vertikal gestreift; häufig sind die Säulen gerundet. Die Krystalle erreichen zuweilen bedeutende Größe, sie können wohl armdick werden. Eine schöne Stufe von Hörlberg b. Bodenmais zeigt Fig. 187. Die darauf befindlichen Krystalle sind braunschwarz, undurchsichtig und zeigen die Flächen R, ∞R, $\infty P2$ und $0R$.

Die Härte beträgt 7, das spezifische Gewicht schwankt zwischen 2,94 und 3,24. Letzteres rührt von der sehr wechselnden chemischen Zusammensetzung des Turmalins her. Man kann die Formel desselben auf mehrere Moleküle der sechsbasischen Kieselsäure

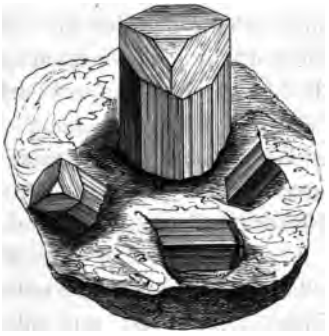


Fig. 187.

Fig. 188.

$H_6 Si O_5$ *) zurückführen, worin der Wasserstoff größtenteils durch K, Na, Li, Mg, Fe, Mn, Ca, sowie durch Al und B in verschiedenen Verhältnissen ersetzt ist. Mit dieser verschiedenartigen Zusammen-

*) Die Formeln der sehr zahlreichen und mannigfaltigen in der Natur vorkommenden kieselsauren Salze lassen sich von folgenden Grundformeln ableiten: 1. gewöhnliche vierbasische Kieselsäure $H_4 Si O_4$, 2. zweibasische Kieselsäure $H_2 Si O_3$, 3. sechsbasische Kieselsäure $H_6 Si O_5$. Meist müssen jedoch diese Formeln verdoppelt, verdreifacht u. s. w. und dabei manchmal noch mit einander kombiniert werden, will man davon die Gesamtformeln der betreffenden Substanzen herleiten.

setzung hängt auch die mannigfaltige Färbung der Turmaline zusammen. So giebt es farblose und gelbe (Elba, Imfeld im Binnenthal), rote, Rubellit genannt (Elba, Mursinsk, Penig in Sachsen), grüne und blaue (Brasilien), braune (Ceylon), endlich sehr verbreitet vorkommende schwarze, Schörl genannt. Ja, oft besteht ein Krystall aus Schichten verschiedener Färbung, indem sich an seinem Baue, auf einander folgend, verschiedene isomorphe Substanzen beteiligen, welche der allgemeinen Formel des Turmalins entsprechen. Man bezeichnet diese Erscheinung passend als isomorphe Schichtung. Die elbaner Krystalle zeigen oft diese Schichtung in ausgezeichneter Weise. So findet man blassgrüne Säulen mit blauem oder schwarzem Ende (Mohrenköpfe) oder solche mit grünem Kern und blassroter Hülle. Fig. 188, S. 221 stellt einen Mohrenkopf dar: an dem unteren abgebrochenen Ende ist derselbe dunkler grün gefärbt, doch wird die Farbe nach oben hin allmählich heller. Hierauf folgt eine fast farblose Schicht, welche zuletzt plötzlich in eine ganz dunkle Kappe übergeht.

Viele Turmalinkrystalle zeigen einen ausgezeichneten Dichroismus (vgl. S. 47). Beim Hindurchsehen parallel zur Hauptachse erblickt man immer eine dunklere Farbe oder Schwarz, während man in der dazu senkrechten Richtung eine andere Farbe wahrnimmt. Von den beiden durch die Doppelbrechung in einem stärker gefärbten, etwa grünen oder braunen Turmalinkrystalle entstehenden Strahlen wird der ordentliche viel stärker verschluckt (absorbiert) als der außerordentliche. Infolge dessen liefert eine aus einem solchen Krystalle parallel zur Hauptachse geschliffene, nicht zu dünne Platte (beim Hindurchsehen) ziemlich vollkommen polarisiertes Licht, indem fast nur solche Strahlen austreten, welche in der Richtung der Hauptachse schwingen. Hält man zwei solche Platten in paralleler Stellung hinter einander, so geht das aus der ersten kommende Licht ohne bedeutende Absorption auch durch die zweite. Kreuzt man aber die beiden Platten unter einem rechten Winkel, so wird das aus der ersten kommende Licht in der zweiten ausgelöscht, weil es nun in dieser dem ordentlichen Strahl entspricht. Zwei gekreuzte Turmalinplatten verhalten sich gegen durchgehendes Licht also ganz ähnlich wie zwei gekreuzte Nicolsche Prismen. Man hat sie deshalb auch in der Form einer sog. Turmalinzange benutzt, um an Krystallplatten, welche zwischen die beiden Platten geklemmt

werden, Interferenzerscheinungen zu beobachten. Doch stehen sie den Nicolschen Prismen schon deshalb weit nach, weil sie gefärbt sind und daher dem durchgelassenen polarisierten Lichte eine die Erscheinungen störende Färbung erteilen.

Mit der Hemimorphie der Turmalinkrystalle steht eine merkwürdige elektrische Eigenschaft derselben in engem Zusammenhange; es ist dies die sog. polare Thermo-Elektrizität. Die Krystalle zeigen nämlich, wenn sie erwärmt werden, und ebenso wenn sie sich wieder abkühlen, an den beiden Enden der Hauptachse freie Elektrizität. Während aber das eine Ende positiv elektrisch ist, weist das andere, der ungleichen krystallographischen Ausbildung entsprechend, negative Elektrizität auf. Bei der Abkühlung tritt die umgekehrte Verteilung der beiden Elektrizitäten ein wie beim Erwärmen. Diese Erscheinung wurde zuerst am Turmalin beobachtet, sie findet jedoch auch bei allen anderen Krystallen statt, welche eine hemimorphe Ausbildung besitzen. Der Turmalin erhielt sogar eine Bezeichnung, welche auf dieses Verhalten hindeutet. Die Holländer, welche ihn aus Ceylon — der Name Turmalin ist indischen Ursprungs — nach Europa mitbrachten, nannten denselben »Aschentrecker«, weil er die Kraft zeigte, die Torfasche auf der heißen Torfkohle anzuziehen und gleich darauf wieder abzustoßen, wie ja überhaupt elektrische Körper leichte Körperchen anziehen und alsbald wieder abstoßen. Linné nannte unser Mineral Lapis electricus. Übrigens werden die farbigen, klaren Krystalle, besonders diejenigen von Elba, viel stärker elektrisch als die schwarzen, rissigen.

Der Turmalin findet sich ein- und aufgewachsen in einer Reihe von Gesteinen, so im Granit, Gneiß, Glimmerschiefer, Dolomit u. a. Besonders bekannt ist sein Vorkommen im Granit bei Penig in Sachsen, im Tannebergsthal im Vogtlande, bei Sonnenberg im Harz, namentlich aber bei St. Piero auf Elba, ferner in silberweißem Glimmer bei Dobrowa (Unterdrauburg in Kärnthen), in Quarz eingewachsen bei Rozena in Mähren, im Dolomit bei Campo longo im Tessin. Weitere Fundorte sind: Ramfos in Snarum (Norwegen), Utö in Schweden, Mursinsk im Ural, Gouverneur (New-York). Die edleren, schön gefärbten Varietäten finden sich auch, wie andere Edelsteine, lose im Flusssande der Tropen, so auf Ceylon und in Brasilien. Solche Turmaline werden öfters zu Schmucksteinen verschliffen.

XXI.

Die pyramidale Hemiedrie. Apatit, Mimetesit und Pyromorphit.

Die zweite mögliche Art der Hemiedrie im hexagonalen System, die pyramidale, entsteht dadurch, dass die Krystallformen durch die sechs in der Hauptachse einander schneidenden Symmetrieebenen (die drei primären und die drei sekundären Hauptschnitte) in zwölf gleiche Teile zerlegt werden, und dass diese Teile abwechselnd verschwinden resp. sich stärker ausdehnen. Diese Hemiedrie entspricht genau der gleichnamigen des quadratischen Systems, und es sind auch hier nur zweierlei Formen, welche dadurch äußerlich eine Veränderung erleiden, nämlich die zwölfseitigen Pyramiden und die zwölfseitigen Prismen; alle anderen bleiben äußerlich unverändert. Die aus der pyramidalen Hemiedrie hervorgehenden Gestalten behalten, wie zu erwarten, die Basis als Symmetrieebene bei, verlieren aber die übrigen Symmetrieebenen.

Die zwölfseitigen Pyramiden mPn gehen infolge der Hemiedrie in sechsseitige Pyramiden $\frac{mPn}{2}$ über, wie Fig. 189 und 190 lehren. Indem nämlich die in Fig. 189 schraffierten Flächen ausfallen, während die weißgelassenen sich stärker ausdehnen, entsteht die Pyramide Fig. 190. Man bezeichnet dieselbe als hexagonale Pyramide dritter Art oder Tritopyramide. Sie gleicht äußerlich vollkommen den Proto- und Deuteropyramiden, indes verbinden die Nebenachsen weder die End- noch die Mittelpunkte der gegenüberliegenden Randkanten, sondern befinden sich dazu in einer Zwi-

ienstellung. Dies zeigt der horizontale Querschnitt Fig. 191. Dabst bedeuten die punktierten Linien die Randkanten einer Proyramide, die ausgezogenen, welche gleichfalls ein die ersteren ıschließendes, reguläres Sechseck bilden, die Randkanten einer topyramide $\frac{mPn}{2}$, wobei $n = \frac{3}{2}$ ist. Die in Fig. 189 schraffierten

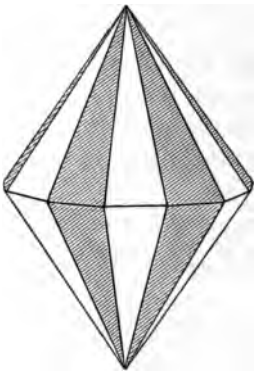


Fig. 189.

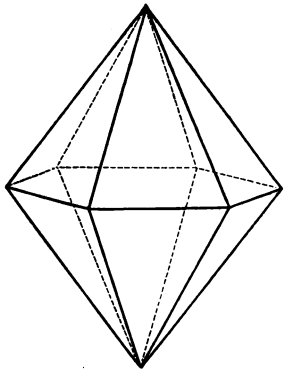


Fig. 190.

ichen liefern für sich eine zweite Tritopyramide, welche der erren zwar an Gestalt gleich ist, sich jedoch durch ihre Stellung ı derselben unterscheidet. Man bezeichnet die eine als positive, : andere als negative Tritopyramide.

: zwölfseitigen Prismen verwandeln h unter dem Einfluss der pyramilen Hemiedrie in sechsseitige Prisn dritter Art oder Tritoprisn $\frac{\infty Pn}{2}$. Dieselben stehen zu dem

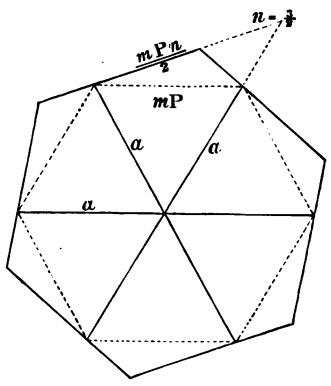


Fig. 191.

ito- und Deuteroprisma genau in rselben Beziehung, wie die Tritoramiden zu den Proto- und Deuopyramiden. Jedes zwölfseitige sma liefert natürlich zwei Tritosmen, welche man als positives d negatives unterscheidet.

Das bei weitem wichtigste und interessanteste Beispiel für die ramidale Hemiedrie des hexagonalen Systems liefert der

1. **Apatit**, ein durch die häufig schöne Ausbildung seiner Krystalle ausgezeichnetes Mineral. Während die weniger durchsichtigen bis undurchsichtigen, oft bunt gefärbten Krystalle meist nur solche Formen zeigen, welche durch die Hemiedrie keine äußere Veränderung erleiden, wie namentlich ∞P, $0P$ und P, beobachtet man an den durchsichtigen farblosen Exemplaren fast stets hemiedrische Flächen. Dabei ist die Zahl der in den verschiedenen Kombinationen vertretenen Formen meist keine zu große, so dass man sich ziemlich leicht zurechtfinden und die Flächen bestimmen kann. Vorzügliches Material zum Studium der Formen liefern die hübschen Krystalle vom St. Gotthard, diejenigen aus dem Zillerthal, namentlich aber die klaren großen Tafeln und prächtigen kleineren Krystalle von Sulzbach in den Salzburger Alpen.

Bei der Entwicklung der Kombinationen (Fig. 192—194) gehen wir von der sechsseitigen Säule $M = \infty P$ (Fig. 192) aus. Sie ist

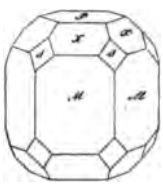


Fig. 192.

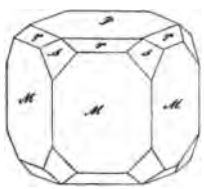


Fig. 193.

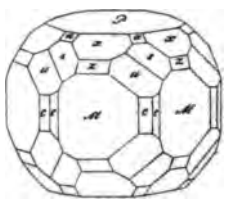


Fig. 194.

leicht aufzufinden, und es geht ihr eine deutliche Spaltbarkeit parallel, welche sich oft auf der Basis $\mathfrak{P}$ durch geradlinige Sprünge zu erkennen giebt, die sich unter 60° schneiden. Zwischen ∞P und $0P$ findet man dann häufig die Flächen der Grundpyramide $x = P$, welche gegen die Basis unter einem Winkel von 139°47′ geneigt sind. Zu den genannten Formen tritt gewöhnlich die Deuteropyramide $s = 2P2$, deren Flächen, zwischen x und M gelegen, die Gestalt von Rhomben (mit fast rechten Winkeln) besitzen. Die zweite Kombination (Fig. 193) unterscheidet sich von der beschriebenen nur dadurch, dass statt der Grundpyramide eine stumpfere Pyramide $r = \frac{1}{2}P$ auftritt, deren Flächen gegen die Basis unter dem größeren Winkel von 157°5′ geneigt sind. Dadurch erhalten die Flächen s die Gestalt symmetrischer Trapezoide. Eine schon ziemlich komplizierte, aber doch noch leicht zu entziffernde Kombination zeigt Fig. 194. Wir finden daran zunächst wieder ∞P (M), $0P$ ($\mathfrak{P}$),

P (x) und $2P2$ (s). Dann aber wird die Kante $M:x$ durch eine neue Protopyramide z abgestumpft, welcher das Symbol $2P$ zukommt. Ihre Lage ist dadurch bestimmt, dass sie mit je einer Fläche s und u (s. unten) parallele Kanten bildet. Sie liegt also einerseits in der Zone $M:x$ und anderseits in der Zone $s:u$. Ferner finden wir eine zweite Deuteropyramide a zwischen s und $\mathfrak{P}$, welche die Polkanten der Grundpyramide x gerade abstumpft; sie erhält das Symbol $P2$. Links unterhalb resp. oberhalb von s, die betreffenden Kombinationskanten $s:M$ abstumpfend, erscheinen die Flächen einer Tritopyramide $u = 3P\frac{3}{2}$, während sie wegen der Hemiedrie rechts unterhalb resp. oberhalb von s fehlen. Man gelangt also stets von x links über s und u nach M. Dreht man hingegen den Krystall (resp. die Figur) um 180° um eine Senkrechte zu M, so liegen natürlich die Flächen u rechts von s. Zwischen einer oberen und einer unteren Fläche von u, mit denselben horizontale, also parallele Kanten bildend, erscheinen die Flächen eines Tritoprismas c. Dieselben müssen nach dem Gesagten die Form von Rechtecken besitzen. Dieses Tritoprisma steht zur Tritopyramide u in naher Beziehung; sein Symbol ist $\frac{\infty P\frac{3}{2}}{2}$, wie aus dem Umstande hervorgeht, dass die Kombinationskanten $c:u$ horizontal verlaufen. Das Tritoprisma bildet die Grenzform sämmtlicher Tritopyramiden des allgemeinen Zeichens $mP\frac{3}{2}$ für $m = \infty$. Zwischen c und M finden wir endlich noch eine Abstumpfung e, welche dem Deuteroprisma $\infty P2$ angehört.

Bei genauerer Betrachtung der Krystalle von Sulzbach bemerkt man nicht selten, dass die Flächen u nicht nur an einer, sondern an beiden Seiten von s auftreten, doch sind sie dann meist an einer Seite viel weniger stark entwickelt, als an der anderen. Diese Erscheinung widerspricht übrigens keineswegs der Hemiedrie, vielmehr findet sie darin ihre Erklärung, dass die beiden Tritopyramiden $+$ und $-\frac{3P\frac{3}{2}}{2}$, welche von einander unabhängige Formen sind, sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern an einem und demselben Krystalle kombiniert vorkommen können. Gewöhnlich herrscht dann die eine gegen die andere stark vor.

Die Krystalle des Apatits sind meist kurzsäulenförmig oder dicktafelartig, die Prismenflächen häufig vertikal gestreift. Ihre Härte beträgt 5, ihr spezif. Gewicht 3,2. Sie sind nicht selten farblos und wasserhell, oft weiß oder verschiedenartig gefärbt, be-

sonders gelb, grün, blau und violett. Die spargelgrünen Varietäten hat man Spargelstein, die dunkel blaugrünen Moroxit genannt.

Die pyramidale Hemiedrie giebt sich sehr schön in den Ätzfiguren des Apatits zu erkennen. Behandelt man einen klaren tafelförmigen Krystall, z. B. vom St. Gotthard oder von Sulzbach, einige Zeit mit verdünnter Salz-, Salpeter- oder Schwefelsäure und betrachtet dann die Basis $0P$ unter dem Mikroskop, so findet man dieselbe mit äußerst zierlichen regulär sechsseitigen Ätzfiguren bedeckt. Während die Gestalt derselben, einer sechsseitigen Pyramide entsprechend, auf das hexagonale System hindeutet, lässt ihre Lage sofort die Gegenwart der pyramidalen Hemiedrie erkennen. Denn die kleinen Eindrücke liegen weder dem Umriss der von ∞P begrenzten Basis parallel, in welchem Falle sie einer Protopyramide angehören würden, noch sind sie gegen denselben um 30° gedreht, wie es einer Deuteropyramide entspräche, sondern sie nehmen eine Zwischenstellung zwischen den beiden genannten Lagen ein, sie sind also auf eine Tritopyramide zurückzuführen. Die Seitenlinien der Ätzfiguren stehen schief zu den Kombinationskanten $0P:\infty P$. Auch die Ätzfiguren auf dem Protoprisma ∞P weisen auf die pyramidale Hemiedrie hin. Bei einem holoedrischen Krystalle müssten sie, den Symmetrieverhältnissen des hexagonalen Systems gemäß, nach oben und unten, sowie nach rechts und links gleich gestaltet sein. Hier aber erscheinen sie in Form von geraden Trapezen, deren parallele Seiten in der Richtung der Hauptachse liegen, die also nach oben und unten, nicht aber nach rechts und links symmetrisch sind. Dies entspricht dem Umstande, dass die pyramidalhemiedrischen Krystalle wohl nach der Basis, nicht aber mehr nach den zu ∞P senkrechten sekundären Hauptschnitten symmetrisch gestaltet sind.

Der Apatit kann als eine Doppelverbindung von phosphorsaurem Kalk und Fluorcalcium, entsprechend der Formel

$$3\ Ca_3P_2O_8 + CaFl_2$$

betrachtet werden. In der Regel ist jedoch ein kleinerer oder größerer Teil des Fluorcalciums durch Chlorcalcium $CaCl_2$ ersetzt.

Der Apatit findet sich in aufgewachsenen Krystallen auf Klüften und in Hohlräumen im Gneiß und in anderen krystallinischen Schiefergesteinen, auch im Granit; so außer an den schon genannten Orten auf den Zinnsteingängen des Erzgebirges (Ehrenfriedersdorf, Zinnwald, Schlaggenwald) und von Cornwallis, und zwar hier

meist schön gefärbt, namentlich violett. In eingewachsenen, oft gerundeten Krystallen erscheint er im körnigen Kalk, wie der langsäulenförmige Moroxit bei Arendal, und im Talkschiefer, wie der Spargelstein am Greiner im Zillerthal. Besonders große Krystalle kommen von Arendal, Snarum (Norwegen), von Hammond in New-York und anderen Orten in Nordamerika. Wohl in allen Sammlungen vertreten sind die großen, mattflächigen, weißen und undurchsichtigen Krystalle der Kombination $\infty P \cdot P \cdot 0P$ von Uxöiekollen bei Snarum. Sie sind meist mit großen, dunkelgrünen Hornblendeprismen verwachsen.

In mikroskopisch kleinen Krystallen kommt der Apatit als Gemengteil der meisten krystallinischen Gesteine vor. Er liefert dem durch Verwitterung derselben entstehenden Boden die für das Gedeihen der Pflanzen unentbehrliche Phosphorsäure. Nicht deutlich krystallisiert, sondern in strahligen oder körnigen bis dichten Massen mit traubiger oder nierenförmiger Oberfläche bildet unser Mineral den sog. Phosphorit, welcher bei Staffel (unweit Limburg a. d. Lahn), Logrosan in Estremadura, Oswestry in England in mächtigen Gängen und meilenweit sich erstreckenden Lagern auftritt. Man behandelt denselben mit Schwefelsäure, wodurch er in leicht löslichen zweifach sauren phosphorsauren Kalk ($CaH_4P_2O_8$) oder Superphosphat verwandelt wird, und benutzt ihn so als wertvolles künstliches Düngemittel.

2. **Pyromorphit** und **Mimetesit** sind ihrer chemischen Zusammensetzung nach dem Apatit durchaus analog und dementsprechend auch mit ihm isomorph. Der Pyromorphit besitzt die Formel

$$3\ Pb_3P_2O_8 + PbCl_2,$$

der Mimetesit

$$3\ Pb_3As_2O_8 + PbCl_2.$$

Ersterer enthält also statt des Calciums Blei, letzterer außerdem statt des Phosphors Arsen. Beide finden sich häufig in Krystallen der Kombination $\infty P \cdot 0P$ oder $\infty P \cdot 0P \cdot P$; die sechsseitige Säule ist oft bauchig und fassähnlich. Manchmal sind die Krystalle an der Basis wie ausgehöhlt. Hemiedrische Flächen beobachtet man nicht, indes sind die Ätzfiguren auf ∞P ganz ähnlich denjenigen des Apatits und sprechen demnach entschieden für das Vorhandensein der pyramidalen Hemiedrie. Während der wachs- bis honiggelbe oder gelblichgrüne Mimetesit zu den selteneren Mineralien gehört (Fundorte sind: Johanngeorgenstadt, Zinnwald, Phönixville

in Pennsylvanien), findet sich der Pyromorphit häufig als spätere (sekundäre) Bildung auf Bleierzlagerstätten, wo er auf Bleiglanz oder in der Nähe desselben vorkommt.

Der Pyromorphit ist meist braun oder grün, seltener gelb (Braunbleierz, Buntbleierz), besitzt Fettglanz und ist durchscheinend bis undurchsichtig. Sehr bekannt ist das Vorkommen von Braubach und Ems in Nassau. Daselbst findet sich massenhaft schön krystallisiertes Braunbleierz. Besonders gut ausgebildet sind die auf Brauneisenerz aufgewachsenen ziemlich kurzen Prismen der Kombination $\infty P \cdot 0P \cdot \infty P2$ (∞P ist glatt, $\infty P2$ weniger glänzend, $0P$ matt), welche manchmal auch P zeigen. Längere, dünne Prismen kommen auf Bleiglanz vor. Größere, nur aus Pyromorphit bestehende Massen stellen Zusammenhäufungen von oft ästig oder traubig an einander gereihten, dickeren oder dünneren hellbraunen Prismen dar. Ein Stück eines solchen Aggregates, dessen Einzelkrystalle nur ∞P und $0P$ zeigen, giebt Fig. 195 in natürlicher Größe wieder. Die Bruchstelle, wo das Stück mit der übrigen Masse in Verbindung stand, liegt bei *a*. Selten sind ganz weiße Krystalle, welche äußerlich mit einer dünnen braunen Rinde von Eisenhydroxyd überzogen sind. Bei Ems finden sich auch große grüne und gelbe Prismen, welche meist durch fassförmige Krümmung an beiden Enden spitz zulaufen. Bekannt sind ferner die bis mehrere Centimeter dicken und hohen gelben Krystalle ($\infty P \cdot 0P$) von Bernkastel a. d. Mosel. Dieselben sind auf dichtem Bleiglanz (oder auf Quarz) aufgewachsen und oft selbst oberflächlich in feinkörnigen Bleiglanz umgewandelt. Auch tragen sie häufig auf ihrer Oberfläche später gebildete Bleiglanzkrystalle. Während hier also zunächst der Bleiglanz (PbS) durch die Einwirkung in die Erzgänge dringender phosphorsäurehaltiger Lösungen in Pyromorphit umgewandelt wurde, fand nachher durch einen Wechsel dieser Lösungen wieder eine Rückbildung in Bleiglanz statt. Oft

Fig. 195.

bilden sich auch unter deutlicher Erhaltung der Krystallform des letzteren Pseudomorphosen von Pyromorphit nach Bleiglanz.

Bei der dritten, im hexagonalen System möglichen Art der Hemiedrie, der trapezoedrischen, fallen diejenigen Flächen aus, welche in den abwechselnden, von sämtlichen sieben Symmetrieebenen gebildeten Räumen liegen. Sie führt von den drei Arten der Hemiedrie allein zu enantiomorphen Formen, welche keine Symmetrieebene mehr besitzen. Eine äußere Veränderung infolge dieser Hemiedrie erfahren übrigens nur die zwölfseitigen Pyramiden, welche dadurch in je zwei, von sechs Trapezoiden (unregelmäßigen Vierecken) umschlossene hexagonale Trapezoeder zerfallen. Dieselben verhalten sich nach dem Gesagten zu einander, wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbilde, und können demnach durch keine Drehung in parallele Stellung gebracht werden. Eine Substanz, welche in dieser Abteilung des hexagonalen Systems krystallisierte, ist bisher nicht aufgefunden worden. Indes ist die trapezoedrische Hemiedrie insofern von Wichtigkeit, als sie in Verbindung mit der rhomboedrischen Hemiedrie zur trapezoedrischen Tetartoedrie führt, zu deren Besprechung wir uns jetzt wenden wollen.

XXII.

Die trapezoedrische Tetartoedrie. Der Quarz. Circularpolarisation.

Es wurde schon früher bemerkt, dass eine tetartoedrische oder viertelflächige Ausbildung der Krystallformen, falls eine solche überhaupt möglich ist, im allgemeinen eintrete, wenn zwei Hemiedrien gleichzeitig herrschen, demnach der Ausfall der Flächen nach zwei Regeln zugleich erfolgt. Von den drei Hemiedrien des hexagonalen Systems können nun zu tetartoedrischen Formen führen 1. die rhomboedrische mit der trapezoedrischen, 2. die rhomboedrische mit der pyramidalen. Die beiden so entstehenden Arten der Tetartoedrie bezeichnet man als die trapezoedrische und die rhomboedrische. Während die letztere weniger wichtig ist, weshalb wir sie unbesprochen lassen dürfen, erscheint die erstere in ausgezeichneter Weise an einem der häufigsten Mineralien, dem Quarz. Eine nähere Kenntnis der trapezoedrischen Tetartoedrie ist für die richtige Auffassung der so interessanten Krystallisation dieses Minerals unerlässlich.

Die Verbindung der rhomboedrischen mit der trapezoedrischen Hemiedrie hat bei der zwölfseitigen Pyramide zur Folge, dass von je vier zwischen zwei primären Hauptschnitten liegenden Flächen nur eine übrig bleibt, und zwar in den auf einander folgenden Räumen einmal eine obere und einmal eine untere, welche zugleich abwechselnd rechts oder links liegt. Bezeichnet man die auf einander folgenden Flächen der Pyramide mit Zahlen, und zwar:

oben	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12,
unten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12,

so bleiben davon unter der Einwirkung der Tetartoedrie jedesmal im Ganzen sechs Flächen übrig, und zwar entweder die im Folgenden unter I, II, III oder IV aufgeführten:

I.	oben	—	2	—	—	—	6	—	—	—	10	—	—
	unten	—	—	3	—	—	—	7	—	—	—	11	—
II.	oben	1	—	—	—	5	—	—	—	9	—	—	—
	unten	—	—	—	4	—	—	—	8	—	—	—	12
III.	oben	—	—	—	4	—	—	—	8	—	—	—	12
	unten	1	—	—	—	5	—	—	—	9	—	—	—
IV.	oben	—	—	3	—	—	—	7	—	—	—	11	—
	unten	—	2	—	—	—	6	—	—	—	10	—	—

Im ersteren Falle z. B. verschwinden durch die rhomboedrische Hemiedrie oben 3,4, 7,8, 11,12, unten 1,2, 5,6, 9,10, dann von den übriggebliebenen noch durch die trapezoedrische Hemiedrie oben 1, 5, 9, unten 4, 8, 12; es bleiben also nur oben 2, 6, 10, unten 3, 7, 11.

Die jedesmal bleibenden und sich stärker ausdehnenden Flächen bilden ein sog. trigonales Trapezoeder. Solcher Trapezoeder entstehen also aus der zwölfseitigen Pyramide im ganzen vier. Sie werden von sechs Trapezoiden umschlossen und besitzen drei obere und drei untere gleiche Polkanten (Fig. 196). Die trigonalen Trapezoeder, wie die trapezoedrisch-tetartoedrischen Formen überhaupt, besitzen, wie aus ihrer Ableitung hervorgeht, keine Symmetrieebene mehr.

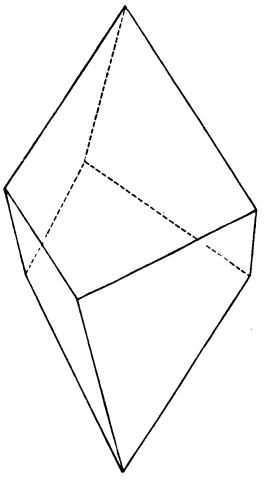


Fig. 196.

Bezeichnet man nun diejenigen oberen Sextanten, in welchen die Flächen 1,2 — 5,6 — 9,10 liegen, als positive, und die anderen, worin die Flächen 3,4 — 7,8 — 11,12 liegen, als negative, so liegt die erste obere Fläche bei I rechts im positiven, bei II links im positiven, bei III rechts im negativen und bei IV links im negativen Sextanten. Hiernach bezeichnet man die vier Trapezoeder

I. als rechtes positives $+ \frac{m\,P\,n}{4}\,r$,

II. als linkes positives $+ \frac{m\,P\,n}{4}\,l$,

III. als rechtes negatives $- \frac{m\,P\,n}{4}\,r$,

IV. als linkes negatives $- \frac{m\,P\,n}{4}\,l$,

wobei + und — den Sextanten, r rechts und l links bedeutet. Das rechte positive und das linke positive Trapezoeder sind enantiomorph, ebenso das rechte negative und das linke negative. Das rechte positive und das rechte negative hingegen, sowie anderseits das linke positive und das linke negative unterscheiden sich nur durch ihre Stellung, sie sind um 60° um die Hauptachse gegeneinander gedreht. Es ist dies auch aus der Aufeinanderfolge der Flächen bei I—IV zu ersehen.

Die zwölfseitigen Prismen gehen unter der Einwirkung der trapezoedrischen Tetartoedrie in zwei sechsseitige (ditrigonale) Prismen über, welche die Zeichen $\frac{\infty P\,n}{4}\,r$ und $\frac{\infty P\,n}{4}\,l$ erhalten. Bezeichnet man die Flächen der holoedrischen Formen mit 1—12, so bleiben davon entweder 2, 3, 6, 7, 10, 11 oder 1, 4, 5, 8, 9, 12. Die ditrigonalen Prismen besitzen drei schärfere und drei stumpfere Kanten, welche mit einander abwechseln. Die stumpferen Kanten schärfen in Kombination mit dem Protoprisma dessen abwechselnde Kanten zu.

Die Deuteropyramiden behalten von ihren sechs oberen und sechs unteren Flächen nur je drei, welche zu zweien über einander liegen. Infolge dessen gehen sie in zwei trigonale Pyramiden $\frac{m\,P\,2}{4}\,r$ und $\frac{m\,P\,2}{4}\,l$ über. Dieselben werden von sechs gleichschenkligen Dreiecken umschlossen, deren Grundlinien zu drei, in der Ebene der Nebenachsen liegenden, gleichen Randkanten zusammenstoßen. Außerdem besitzen sie drei obere und drei untere gleiche Polkanten.

Entsprechend den Deuteropyramiden zerfällt das Deuteroprisma in zwei dreiseitige (trigonale) Prismen $\frac{\infty P\,2}{4}\,r$ und $\frac{\infty P\,2}{4}\,l$,

deren Kanten = 60° sind. Die Flächen dieser Prismen stumpfen die abwechselnden Kanten des Protoprismas gerade ab.

Die Protopyramiden erscheinen infolge der Tetartoedrie als Rhomboeder $\pm mR$, während endlich das Protoprisma und die Basis äußerlich unverändert bleiben und mit ∞R und $0R$ bezeichnet werden.

Quarz. Bei weitem nicht alle Krystalle dieses Minerals zeigen Formen, welche das Vorhandensein der trapezoedrischen Tetartoedrie erkennen lassen. Im Gegenteil sind viele derselben scheinbar holoedrisch, andere rhomboedrisch-hemiedrisch, während namentlich die edleren Varietäten die Tetartoedrie bestimmt zur Erscheinung bringen. Demnach können wir der Übersichtlichkeit halber die Quarzkrystalle in drei Gruppen sondern, denen sich als eine vierte diejenigen Individuen anschließen, welche sich durch ein ungewöhnliches Zurücktreten von $\pm R$ und das Vorherrschen anderer, spitzerer Rhomboeder auszeichnen.

1. Die trüben Krystalle weisen, namentlich wenn sie sich frei schwebend, also ringsum ausgebildet haben, häufig die Kombination des Hauptrhomboeders R $(+R)$ mit dem Gegenrhomboeder $-R$ auf. Diese beiden Formen bilden, da sie sich das Gleichgewicht halten, oder doch keine gesetzmäßige abweichende Flächenentwicklung besitzen, eine scheinbar holoedrische sechsseitige Pyramide, deren gleichschenklig-dreiseitige Flächen an der Spitze einen ebenen Winkel von 39° 18′ zeigen. Eine Gruppe solcher Krystalle von Poretto bei Bologna stellt Fig. 197 dar. Dieselben sind von grauer Färbung. Ähnliche Krystalle finden sich besonders häufig im Porphyr eingewachsen, wo sie sich aus der ursprünglich feurigflüssigen Gesteinsmasse ausgeschieden haben. Die Flächen $\pm R$ sind oft mit zarten dreiseitigen Erhöhungen bedeckt, oft auch beobachtet man darauf dreieckige Vertiefungen.

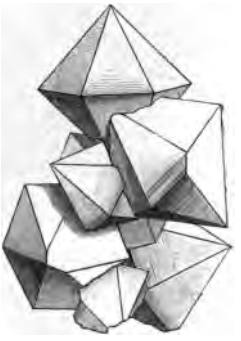


Fig. 197.

Weit zahlreicher als die Krystalle der Form $\pm R$ sind diejenigen, bei welchen zu dem Haupt- und Gegenrhomboeder noch das Protoprisma ∞R tritt. Dasselbe kann entweder nur als schmale Abstumpfung der horizontalen Kanten der Pyramide erscheinen,

oder es kann, und dies ist die Regel, stärker ausgedehnt sein und zur Bildung säulenförmiger Krystalle führen. Solche kommen, ringsum ausgebildet, trüb bis undurchsichtig, von weißer, gelber oder roter Farbe, bei Brilon, Warstein im Kreise Arnsberg, Sundwig bei Iserlohn, Johanngeorgenstadt in Sachsen, St. Jago di Compostella in Spanien u. a. Orten vor, wo sie im Mergel, Kalkstein oder Gyps liegen. Die gelben oder roten sind durch Brauneisenerz oder Roteisenerz gefärbt und werden deshalb Eisenkiesel genannt. Die Oberfläche solcher Krystalle ist oft löcherig und erscheint wie zerfressen. Charakteristisch für die Flächen ∞R ist die sehr gewöhnliche Streifung derselben parallel den Kombinationskanten mit R.

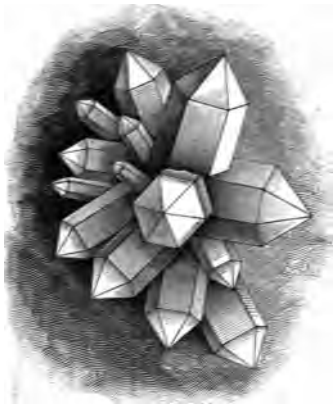


Fig. 198.

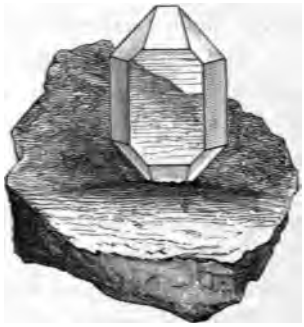


Fig. 199.

Die fast überall auf Gängen vorkommenden aufgewachsenen Quarzkrystalle zeigen gleichfalls die Kombination $\infty R \cdot \pm R$. Sie sind in der Regel mehr oder weniger trüb, weiß oder grau, zuweilen jedoch wasserhell und bilden dann den Übergang zu dem eigentlichen, flächenreicheren Bergkrystall. Indes kann auch letzterer wohl nur das Protoprisma mit dem Haupt- und Gegenrhomboeder zeigen. Fig. 198 giebt die Ansicht einer hübschen Gruppe von trüben, weißen Quarzkrystallen, welche von der Ansatzstelle nach verschiedenen Richtungen ausstrahlen und ganz den Eindruck einer holoedrisch-hexagonal krystallisierenden Substanz machen. Sehr oft erscheint die in Rede stehende Kombination durch ungleichmäßige Ausdehnung der Flächen verzerrt. So sind bei dem in Fig. 199 wiedergegebenen Bergkrystall aus dem Marmor von

Carrara zwei gegenüberliegende Prismenflächen stärker ausgedehnt als die übrigen, und auch die Pyramidenflächen sind ungleich entwickelt, wodurch z. B. an Stelle der freien Polecke eine Kante erscheint.

Oft ist das Prisma sehr verkürzt und erhebt sich nur noch eben über das Niveau der Unterlage, auf welcher die Krystalle aufsitzen. Diese drängen sich dann gern dicht zusammen, wodurch eine größere Zahl sechsseitiger Spitzen hervorragt. Solche Krystalle können farblos oder verschieden gefärbt sein, häufig sind sie durchsichtig und violett und werden dann als Amethyst bezeichnet. Diese letztere Varietät weist jedoch oft schon eine deutliche ungleiche Entwicklung des Haupt- und Gegenrhomboeders auf, weshalb wir sie bei der zweiten Gruppe besonders betrachten werden.

Als eine eigentümliche Wachstumserscheinung, welche sich nicht selten findet, seien hier noch die Szepterquarze erwähnt. Dieselben bestehen aus einem dünneren Prisma von wasserhellem oder trübem Quarz, welches am Ende in einen dickeren, meist violetten, durch $\pm R$ geschlossenen Teil in paralleler Stellung übergeht, wodurch eine szepterähnliche Form entsteht. Schöne Szepterquarze finden sich z. B. im Zillerthal, im Wallithal bei Biel und bei Mursinsk im Ural. Fig. 200 stellt einen großen derartigen Krystall vom letzteren Fundorte dar, welcher sich noch dadurch auszeichnet, dass der obere Teil aus einander umhüllenden Schalen aufgebaut ist, und dass seine Spitze in mehrere Pyramiden zerfällt.

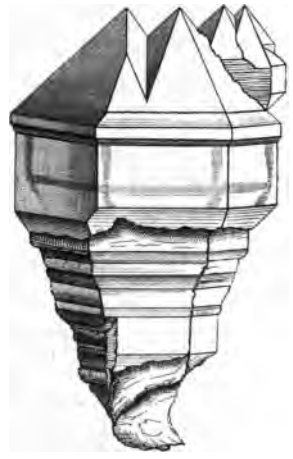


Fig. 200.

2. Eine zweite Art von Quarzkrystallen zeigt zwar gleichfalls nur die Flächen ∞R, R und $-R$, indes erscheinen dabei die beiden Rhomboeder nicht mehr wie eine holoedrische Pyramide, sondern das Hauptrhomboeder herrscht vor, und das Gegenrhomboeder tritt mehr oder weniger zurück. Man bemerkt also, wenn man auf die Endflächen achtet, dass die abwechselnden Flächen stärker ausgedehnt, die anderen kleiner sind. Daher erscheinen diese Krystalle

von oben betrachtet wie Fig. 201 *a*. Manchmal fällt auch das Gegenrhomboeder ganz weg, so dass die Kombination $\infty R \cdot R$ entsteht, und der Krystall wie Fig. 201 *b* aussieht. Eine derartige scheinbar rhomboedrisch-hemiedrische Ausbildung kommt namentlich häufig und zierlich beim Amethyst (Zillerthal, Schemnitz in Ungarn) vor.

3. Wir wenden uns nun zu denjenigen Quarzen, welche auch solche Flächen zeigen, deren unvollzähliges Auftreten die Existenz der Tetartoedrie beweist. Zunächst gehören hierhin diejenigen Krystalle, an denen außer ∞R und $\pm R$ die aus der Deuteropyramide hervorgegangene trigonale Pyramide $s = \frac{2P2}{4}$ erscheint.

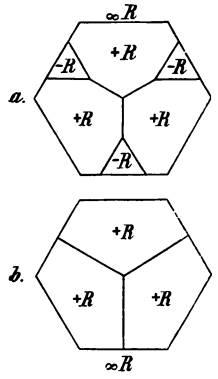


Fig. 201.

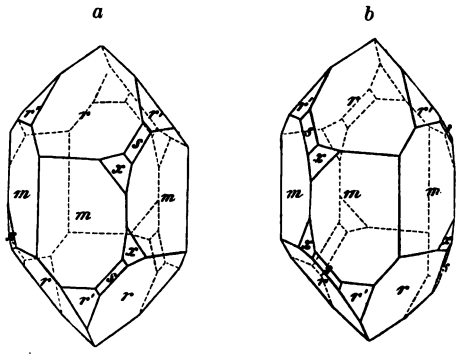


Fig. 202.

Dieselbe tritt meist in Form kleiner rhombischer Flächen auf, welche die abwechselnden vierkantigen, von R, $-R$ und ∞R gebildeten Ecken abstumpfen, weshalb man diese Flächen auch als Rhombenflächen bezeichnet. Es sind immer zwei über einander liegende, d. h. an derselben Prismenkante befindliche Ecken, welche die Rhombenflächen tragen, im Ganzen also sechs (vgl. Fig. 202).

Besonders schön und regelmäßig beobachtet man die trigonale Pyramide an den ringsum ausgebildeten, wasserhellen Krystallen von Middleville (New-York), namentlich an den kleineren. Nur zuweilen ist die Verteilung der Rhombenflächen eine unregelmäßige, indem dieselben sich an benachbarten (nicht nur den abwechselnden) Prismenkanten wiederholen. Dies widerspricht aber nur scheinbar dem Vorhandensein der Tetartoedrie; in Wirklichkeit ist es darauf zurückzuführen, dass die betreffenden Krystalle nicht einfach, sondern Zwillingskrystalle sind (s. darüber weiter unten).

Das größte Interesse gewähren aber Quarzkrystalle, an welchen außer den genannten Flächen diejenigen eines oder mehrerer (aus einer zwölfseitigen Pyramide hervorgegangener) trigonaler Trapezoeder vorhanden sind. Als die bei weitem häufigste und wichtigste derartige Form ist das Trapezoeder $x = \frac{6P\frac{6}{5}}{4}$ zu nennen. Die Art seines Auftretens ist aus Fig. 202 *a* und *b* ersichtlich. Beide zeigen außer $m = \infty R$, $r = R$ (vorherrschend) und $r' = -R$ (untergeordnet) die trigonale Pyramide $s = \frac{2P2}{4}$ an den abwechselnden Prismenkanten. Nun besteht aber ein wesentlicher Unterschied darin, dass bei *a* die Flächen *s* immer oben rechts von *R*, bei *b* immer links von *R* liegen. Und hiernach richtet sich auch die Lage der Trapezoederflächen *x*, welche eine Kante *s*:*m* abstumpfen. Die beiden Kombinationen können durch keine Drehung in parallele Stellung gebracht werden, sie verhalten sich vielmehr wie Gegenstand und Spiegelbild, sind enantiomorph. Demnach hat man zweierlei Quarzkrystalle zu unterscheiden: 1. rechte (Fig. 202 *a*); dieselben zeigen *s* nur (oben) rechts von *R*, desgleichen *x* nur rechts, 2. linke (Fig. 202 b); an ihnen erscheint *s* nur (oben) links von *R*, desgleichen *x* nur links. An den rechten Quarzkrystallen ist das Trapezoeder *x* als rechtes positives, an den linken als linkes positives zu bezeichnen. Solche flächenreichere Krystalle finden sich besonders reichlich in den Alpen, aufgewachsen in Höhlungen, Drusenräumen (namentlich in den sog. Krystallhöhlen oder Krystallkellern, aus welchen sie oft nur mit großer Mühe und Lebensgefahr von den »Strahlern« gewonnen werden) und auf Spalten des Gesteins. Sie sind wasserhell (eigentlicher Bergkrystall) oder durch organische Substanz braun bis schwarz gefärbt (Rauchtopas, Morion). Die letzteren werden durch Glühen farblos und können dann als Bergkrystall verwendet werden. Als bekannte Fundorte seien erwähnt: Sulzbach-, Pfitsch- und Zillerthal in Tirol, Galenstock, Viesch und Münsterthal im Ober-Wallis, St. Gotthard, Göschenenalp im Uri, Maderanerthal, Tavetsch in Graubünden, Dauphinée. Eine hübsche kleine Gruppe aus dem Maderanerthal stellt Fig. 203 S. 240 dar. Beide Krystalle zeigen *R* vorherrschend gegen $-R$. Letzteres unterscheidet sich von ersterem auch noch dadurch, dass seine Flächen weniger glänzend sind (in der Figur durch Punktierung angedeutet), welchen Unterschied man an den

in Rede stehenden Quarzen überhaupt nicht selten wahrnimmt. Nun ist der links befindliche Krystall ein rechter, der andere hingegen ein linker. Denn bei dem ersteren liegen $s\left(\frac{2P2}{4}\right)$ und $x\left(\frac{6P\frac{6}{5}}{4}\right)$ rechts unter R, bei dem anderen links unter R. Die Flächen s sind nach der Kombinationskante mit R gestreift, und diese Streifung ist nach x hin gerichtet.

Tritt der Unterschied zwischen R und $-R$ deutlich hervor, so kann man schon aus der Lage von s allein entscheiden, ob man es mit einem rechten oder linken Krystall zu thun hat. Ist dies aber nicht der Fall und fehlt auch x, so leitet die Streifung auf s, da sie das Hauptrhomboeder als solches erkennen lässt.

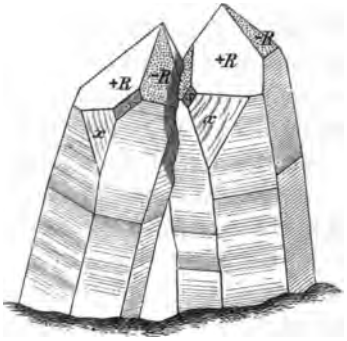


Fig. 203.

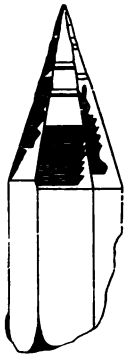


Fig. 204.

Die Prismenflächen der beiden Krystalle (Fig. 203) sind mehrfach nach der Kombinationskante mit $\pm R$ geknickt. Einzelne Teile derselben können demnach, streng genommen, nicht mehr dem Protoprisma angehören; sie entsprechen vielmehr sehr spitzen positiven oder negativen Rhomboedern. Solche steile Rhomboeder beobachtet man am Quarz sehr häufig; oft erscheinen die aufgewachsenen Krystalle dadurch am freien Ende bedeutend schmäler. Eine Reihe solcher Rhomboeder hat man genauer bestimmen können, so z. B. $4R$, $5R$, $-7R$, $-11R$, bei anderen ist der Wert von m noch größer.

Nicht selten treten neben x noch andere Trapezoederflächen auf. So werden z. B. die Kombinationskanten $s:x$ durch eine Fläche abgestumpft, welche meist rauh punktiert, überhaupt weniger glänzend als x ist. Sie gehört dem Trapezoeder $u = +\frac{4P\frac{4}{3}}{4}$ an.

Auch an der zweiten Kante $s:\infty R$ können sich Abstumpfungen zeigen. Dieselben entsprechen bei einem rechten Quarze einem linken negativen, bei einem linken Quarze einem rechten negativen Trapezoeder, da sie unter $-R$ liegen. Doch würde es uns zu weit führen, auf diese Dinge, welche schon ein genaueres Studium erfordern, weiter einzugehen.

4. Eine eigentümliche Ausbildung zeigen gewisse, in neuerer Zeit bekannt gewordene Quarzkrystalle von Alexander County (Nord-Carolina). Dieselben finden sich in Klüften im Gneiß und Glimmerschiefer, sind außerordentlich mannigfach in ihren Formen und weisen sehr häufig vorherrschend spitzere Rhomboeder, insbesondere $\pm 3R$ auf. Fig. 204 zeigt einen solchen Krystall, an welchem $\pm R$ vollständig durch $\pm 3R$ ersetzt ist. Infolge dessen weicht derselbe in seinem Aussehen sehr von den gewöhnlichen Quarzkrystallen ab. Die Rhomboederflächen tragen stellenweise eine eigentümliche Zeichnung, welche auf Zwillingsbildung zurückzuführen ist.

Zwillinge des Quarzes.

Es wurde schon oben erwähnt, dass zuweilen an den Krystallen von Middleville die Verteilung der Flächen s insofern eine unregelmäßige sei, als dieselben sich an benachbarten (statt nur an den abwechselnden) Prismenkanten wiederholen. Ein solches unregelmäßiges, oft scheinbar ganz willkürliches Auftreten dieser Flächen und ebenso von x zeigt sich nun an den alpinen Krystallen außerordentlich häufig. Es ist auf Zwillingsbildung und Durchwachsung zweier Individuen in verwendeter Stellung zurückzuführen. Die Art dieser Zwillingsbildung wird aus Fig. 205—207 klar.

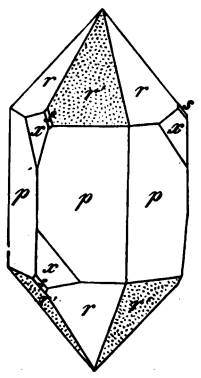


Fig. 205.

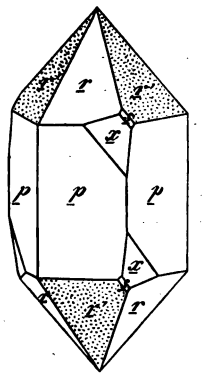


Fig. 206.

Fig. 205 zeigt einen rechten Quarz, bei welchem r (R) und r' ($-R$) gleich stark ausgedehnt sind, sich aber durch den ver-

schiedenen Grad des Glanzes unterscheiden. Auch der Krystall Fig. 206 ist ein solcher rechter, allein er ist gegen den ersten um die bei beiden parallele Hauptachse um 60° gedreht. Dadurch wendet er seine Flächen r dahin, wo die Flächen r' des anderen liegen, und umgekehrt. In dieser Stellung verwachsen nun die beiden Krystalle mit einander, etwa so, wie es Fig. 207 angiebt. Es sind gleichsam unregelmäßig begrenzte Stücke aus dem einen Krystalle geschnitten und die entstandenen Hohlräume durch Teile des anderen Krystalles ausgefüllt. So können die beiden Individuen einander in der mannigfaltigsten Weise durchdringen. Die Flächen r des einen fallen in das Niveau der Flächen r' des anderen, die Zwillingsgrenze tritt jedoch auf diesen Flächen durch den verschiedenen Glanz von r und r' sehr deutlich hervor. An den Polkanten der scheinbaren sechsseitigen Pyramide stoßen stets glänzende und weniger glänzende Flächenteile zusammen. Besonders wichtig ist aber der Umstand, dass infolge dieser Verwachsung die Flächen s und x hier und da an zwei direkt auf einander folgenden Prismenkanten auftreten. Wäre die Ausbildung des Zwillings eine sehr regelmäßige, so würden diese Flächen an jeder Prismenkante, also im ganzen zwölfmal, erscheinen. Dies ist indes, wenn überhaupt, nur höchst selten der Fall. Ebenso wie zwei rechte, können auf die angegebene Weise auch zwei linke Krystalle mit einander in Verbindung treten. Da die Flächen R und $-R$ nicht immer einen deutlichen Unterschied in ihrer Beschaffenheit erkennen lassen, so ist es nicht in jedem Falle so leicht, den Verlauf der Zwillingsgrenze auf den Rhomboederflächen zu verfolgen. Jedoch findet man die Grenze meist bei genauerer Betrachtung als sehr feine, unregelmäßig gekrümmte Linie.

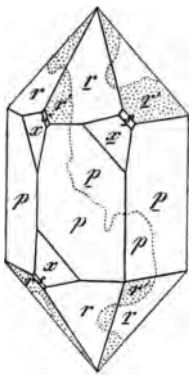


Fig. 207.

Während bei der besprochenen Art der Zwillingsbildung die beiden mit einander verwachsenen Individuen nach keiner Krystallfläche symmetrisch zu einander stehen, giebt es eine zweite, freilich viel seltener deutlich hervortretende, bei welcher die beiden Individuen sich zu einander in symmetrischer Stellung befinden. Da aber hierbei der eine Krystall gleichsam das Spiegelbild des anderen darstellen muss, so lässt sich denken, dass nun nicht zwei

gleiche, also zwei rechte oder zwei linke Krystalle verwachsen, sondern dass ein rechter mit einem linken in Verbindung tritt. Denn das Spiegelbild eines rechten Krystalls ist unter allen Umständen ein linker und umgekehrt (ebenso wie ein Spiegelbild der rechten Hand immer der linken entspricht).

Die Ebene, nach welcher die beiden Individuen symmetrisch liegen, entspricht einer Fläche des Deuteroprismas $\infty P2$. Auch hier sind nun die beiden Krystalle, ebenso wie bei der erstbesprochenen Zwillingsbildung, immer so durch einander gewachsen, dass sie äußerlich wie ein einfacher Krystall erscheinen. Man bemerkt an dem Zwilling keine einspringenden Winkel. Am deutlichsten beobachtet man diese Verwachsung an gewissen Amethysten von Brasilien (Fig. 208). Die Flächen des Trapezoeders x bilden hierbei ein scheinbares positives Skalenoeder, indem sie rechts und links unter R auftreten. Dies rührt daher, dass der Zwilling (bei regelmäßigster Ausbildung) aus sechs Teilen besteht, deren Grenzflächen senkrecht durch die Mitten der Prismenflächen ∞R gehen. Von diesen Teilen gehören drei dem rechten Individuum an, sie tragen x rechts unter R; die anderen, welche mit jenen abwechseln, gehören dem linken an und tragen deshalb x links unter R. In unserer Figur gehen also die Zwillingsgrenzen durch die Ecken, in welchen je zwei Flächen x zusammenstoßen. In anderen Fällen treffen die verbundenen Individuen in anderen Flächen zusammen.

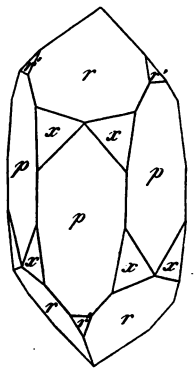


Fig. 208.

Es ist hervorzuheben, dass bei solchen Zwillingen die Zwillingsgrenzen an der Oberfläche fast stets geradlinig verlaufen, während bei der zuerst besprochenen Art der Verwachsung diese Grenzen unregelmäßig gekrümmte Linien sind.

Fehlten die Flächen x, so würde der Krystall (Fig. 208) äußerlich nicht verraten, dass er aus Rechts- und Linksquarz zusammengesetzt ist. Häufig zeigen aber solche Krystalle auf den Rhomboeder- oder Prismenflächen eine zarte, meist schräg verlaufende Streifung, welche auf die Zwillingsbildung hinweist. Die Streifen (Zwillingsgrenzen) deuten einzelne Partien oder dünne Platten (Lamellen) z. B. von Rechtsquarz an, welche einem linken

Krystall eingelagert sind. Beobachtet man aber an einem Quarzkrystalle mehrere Flächen $s = 2P2$, und ist die früher erwähnte charakteristische Streifung derselben teils von oben rechts nach unten links, teils entgegengesetzt gerichtet, so kann man auch hieran schon das gleichzeitige Vorhandensein von Rechts- und Linksquarz mit Sicherheit erkennen.

Nicht selten kommt es vor, dass beide Arten der Zwillingsbildung gleichzeitig an einem Quarzkrystall herrschen. Dann verbinden sich etwa zwei Individuen gleicher Art, wovon das eine gegen das andere um 60° gedreht ist, und jedes derselben enthält noch eingelagert Teile der anderen Art. Solche Zwillinge weisen eine große Mannigfaltigkeit in dem Detail ihrer Ausbildung auf, und es gewährt begreiflicherweise dem Forscher ein großes Interesse, daran die Art der Verbindung der Individuen im einzelnen zu verfolgen. Zuweilen erscheinen gewisse Flächen solcher Zwillinge wie angeätzt, sie zeigen regelmäßig gestaltete Unebenheiten, welche auf den verschieden gelagerten Teilen abweichend gerichtet sind, und man kann dann wohl durch genaue Betrachtung derselben Aufschluss über den Bau des Krystalles gewinnen. Einen Quarz dieser Art von Järischau in Schlesien giebt Fig. 209 mit den unter dem Mikroskop gezeichneten Einzelheiten wieder. Wir wollen versuchen, seine ziemlich komplizierte Zusammensetzung zu entziffern.

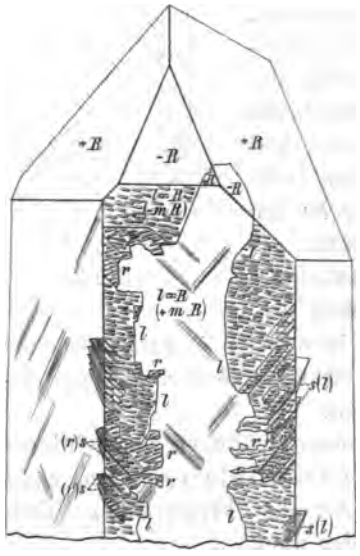


Fig. 209.

Wir bemerken an dem Krystalle zunächst nur die Flächen R (in der Figur $+R$), $-R$ und ∞R. Die letzteren gehören jedoch, genau genommen, einem sehr spitzen positiven und einem ebensolchen negativen Rhomboeder an, da das Prisma nach den Endflächen des Krystalls zu ein wenig an Breite abnimmt (vergl. S. 240). Die unter R liegenden Prismenflächen sind demnach richtiger als $+mR$ (wobei m einen sehr großen Wert hat), die unter

$-R$ liegenden als $-mR$ zu bezeichnen. Während zwar schon die ungleiche Ausdehnung der abwechselnden Rhomboederflächen vermuten lässt, welche derselben als R und welche als $-R$ zu nehmen sind, so geht dies unzweifelhaft aus dem Umstande hervor, dass die direkt unter der kleineren Rhomboederfläche liegenden Teile von ∞R (resp. mR) im Gegensatz zu den benachbarten Prismenflächen nicht spiegelnd, sondern matt sind. Dies ist nämlich gerade bei den unter $-R$ liegenden Teilen der Prismenflächen des Quarzes häufig der Fall. Hier tragen dieselben eine Art Moirée, indem sie bei bestimmter Richtung des auffallenden Lichtes einen eigentümlichen Schimmer zeigen. Dieser Schimmer entsteht durch die Reflexion des Lichtes an zahllosen kleinen länglichen und schräg liegenden Unebenheiten, womit die betreffenden Flächen (resp. Flächenteile) bedeckt sind. Unsere Figur giebt dieselben wieder, wie sie sich bei der Betrachtung unter dem Mikroskop dem Auge darbieten.

Es fällt uns nun zweierlei auf: 1. dass die mittlere (unter $-R$ liegende) Prismenfläche nicht überall mit jenen Unebenheiten bedeckt ist, sondern in der Mitte ein unregelmäßig begrenztes, davon freies und glänzendes Feld besitzt, und 2. dass jene Unebenheiten zwar dicht unter $-R$ und an den meisten anderen Stellen von oben links nach unten rechts gerichtet sind, dass sie aber auf gewissen Flächenteilen auch die entgegengesetzte Lage, von oben rechts nach unten links, zeigen. Diese beiden Erscheinungen werden herbeigeführt durch die Einlagerung anderer Krystallteile infolge von Zwillingsverwachsung. Ehe wir indes die genauere Erklärung geben können, müssen wir erst versuchen, die Natur des Hauptkrystalls, ob Rechts- oder Linksquarz, zu ermitteln. Dies gelingt durch die Beobachtung eigentümlicher schräger Einkerbungen, welche an den Prismenkanten auftreten und sich stellenweise in zahlreichen parallelen Absätzen wiederholen. Dieselben werden durch schmale Flächenstreifen der trigonalen Pyramide s hervorgebracht. Betrachten wir die rechte, unter R befindliche Prismenfläche, so finden wir darauf oben eine größere derartige Einkerbung und unterhalb des schmalen Flächenstreifens s auf der anstoßenden mittleren Prismenfläche die Unebenheiten von oben links nach unten rechts gerichtet, also genau so, wie auf derselben Fläche dicht unter $-R$. Die hier betrachtete Fläche s liegt aber links unter R; folglich gehört sie einem linken Quarzkrystalle an.

Und da der anliegende Teil der mittleren Prismenfläche mit dem direkt unter $-R$ liegenden hinsichtlich der Richtung der Unebenheiten übereinstimmt, so ist auch der ganze Hauptkrystall als ein linker Quarz zu bezeichnen. Die Beschaffenheit als Linksquarz ist in der Figur an den erwähnten Stellen durch ein beigefügtes *l* (links) angedeutet. Ebenso ist dieser Buchstabe auf oder dicht neben solche Teile von ∞R (resp. $-mR$) gesetzt, auf welchen die Unebenheiten gleichfalls von oben links nach unten rechts liegen, welche Teile also mit dem direkt unter $-R$ befindlichen übereinstimmen.

Nachdem wir so erkannt haben, dass der Krystall seiner Hauptmasse nach ein linker Quarz ist, gehen wir zur Deutung der in anderer Stellung eingewachsenen Partien über.

Das glänzende, unregelmäßig begrenzte Feld, welches sich über die mittlere Prismenfläche hinzieht, setzt sich auch noch über einen Teil der Fläche $-R$ und einer solchen R fort. Diese ganze Partie gehört einem Krystall an, welcher gegen den Hauptkrystall um 60° um die Hauptachse gedreht ist. Deshalb legt er seine glänzenden Prismenflächen dahin, wo jener seine matten Prismenflächen hat, sein R fällt mit $-R$ des Hauptkrystalls zusammen und umgekehrt. Wir haben hier die erste Art der oben besprochenen Zwillingsbildung: zwei Individuen gleicher Art (hier also zwei linke Krystalle) sind um 60° gegen einander gedreht und durchwachsen einander in dieser Stellung.

Auf den matten Teilen der mittleren Prismenfläche bemerkten wir außer den von links oben nach rechts unten verlaufenden Unebenheiten auf gewissen scharf abgegrenzten Partien oder Streifen auch solche von entgegengesetzter Richtung. Die betreffenden Partien gehören, entsprechend der Lage der Unebenheiten, einem Krystalle an, welcher gleichsam das Spiegelbild des Hauptkrystalls ist, also einem rechten Quarze. Bei der zweiten Art der Zwillingsbildung nach dem Gesetze: »Zwillingsebene eine Fläche von $\infty P2$« fallen, wie es hier geschieht, die matten (überhaupt die gleichbeschaffenen) Prismenflächen beider Individuen in eine Ebene. Hingegen ist die Anordnung von *s* bei beiden die entgegengesetzte. Deshalb finden wir nun auch an der links von $-R$ liegenden Prismenkante mehrfach die schon erwähnten Einkerbungen, und die daselbst befindlichen schmalen Flächenstreifen *s* (s. den unteren Teil der Kante), welche rechts unter *R* liegend

einem rechten Krystall angehören, führen zu solchen matten Teilen der mittleren Prismenfläche, auf denen die Unebenheiten von rechts oben nach links unten verlaufen. Diese Flächen *s* und die entsprechenden Teile der matten Prismenfläche sind durch ein beigefügtes *r* als einem rechten Krystalle angehörig bezeichnet. Andere, namentlich in der Mitte der Prismenkante gelegene Einkerbungen sind auf zahlreiche, sehr schmale und dicht gedrängte Zwillingslamellen zurückzuführen, welche sich auch auf die matte Prismenfläche nur in Form von ganz feinen Streifen fortsetzen. Diese Streifen gehen einer schräg verlaufenden Kante $\infty R : R$ parallel.

Schließlich ist noch zu erwähnen, dass auch auf den glänzenden Prismenflächen stellenweise eine deutliche Streifung zu bemerken ist, welche in der Richtung der schrägen Kanten $\infty R : -R$ verläuft. Diese Streifung wird gleichfalls durch feine Zwillingslamellen hervorgebracht, welche nach dem Gesetze: »Zwillingsebene eine Fläche von $\infty P 2$« eingelagert sind. Sie gehören demnach hier ebenfalls einem rechten Individuum an. —

Eine dritte Art der Zwillingsbildung, welche, wenn auch weit seltener als die beiden vorher besprochenen, beim Quarz vorkommt, ist die, dass zwei Krystalle nach einer Fläche der Deuteropyramide (resp. trigonalen Pyramide) $P 2$ verwachsen. Eine solche Fläche stumpft eine Kante $R : -R$ gerade ab und ist gegen die Hauptachse um 42° 17′ geneigt. Infolge dessen bilden die beiden Hauptachsen des Zwillings einen Winkel von 84° 34′. Fig. 210 zeigt einen schönen Zwilling dieser Art aus der Dauphinée. Andere kommen von Munzig in Sachsen und von Traversella.

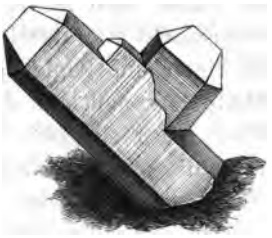


Fig. 210.

Die Quarzkrystalle können eine sehr beträchtliche Größe erreichen. So fand man auf Madagaskar wasserhelle von 8 m im Umfange, in einer Granithöhle am Tiefengletscher im Kanton Uri 1868 riesige, fast schwarze Bergkrystalle (Morionen), von welchen der größte bei 69 cm Höhe und 122 cm Umfang 133 kg wog. Die Krystalle sind teils einzeln auf- und eingewachsen, teils zu oft prächtigen Gruppen und Drusen vereinigt. Mehrere wichtige Fund-

orte wurden schon erwähnt. In Pseudomorphosen erscheint der Quarz nach vielen Mineralien, so z. B. nach Flussspat, Gips, Kalkspat und Apatit. Eine deutliche Spaltbarkeit ist nicht wahrzunehmen. Der Bruch ist muschelig, die Härte = 7, das spez. Gewicht = 2,5 — 2,8. An sich farblos, sind die Quarzkrystalle doch häufig gefärbt, namentlich grau, gelb, braun, rot, schwarz, violett. Indes sind farblose oder weiße gewöhnlich. Die hiernach unterschiedenen Varietäten: Bergkrystall, Rauchtopas, Morion, Amethyst, Eisenkiesel wurden schon erwähnt. Weingelbe Krystalle hat man Citrin genannt. Dieselben sind nicht häufig; der im Handel vorkommende Citrin ist meistens ein gebrannter Amethyst (die violette Farbe des letzteren geht beim Erhitzen in Gelb über).

Die Quarzkrystalle besitzen Glasglanz. Über die Doppelbrechung derselben vergl. S. 40. Da der Unterschied der beiden Brechungsquotienten verhältnismäßig klein ist, so kann man die doppelte Lichtbrechung hier nicht in der einfachen direkten Weise wahrnehmen, wie beim Kalkspat. Indes lässt sich z. B. an den wasserhellen Krystallen von Middleville die Doppelbrechung auf folgende Art beobachten. Man lege den betreffenden Krystall, an welchem eine Fläche ∞R so vorherrscht, dass man durch sie und die zweitbenachbarte wie durch ein Prisma von 60° hindurchsehen kann, auf einen auf Papier gezogenen Strich, so dass die stark ausgedehnte Prismenfläche den Strich bedeckt und die Hauptachse demselben parallel geht. Dann erblickt man den Strich nicht nur durch die obere horizontale, sondern auch durch die benachbarte schrägliegende Fläche (ebenso auf der entgegengesetzten Seite). Entfernt man jetzt den Krystall, indem man ihn aufhebt, in paralleler Lage von dem Striche, so rückt das seitliche Bild noch mehr von der Mitte weg, und indem man dasselbe verfolgt, sieht man, wie es sich schon bei verhältnismäßig geringer Entfernung in zwei Bilder spaltet.

Von ganz besonderem Interesse ist das Verhalten des Quarzes im polarisierten Lichte. Bringt man nämlich eine Platte desselben, welche senkrecht zur Hauptachse geschliffen ist, auf den Tisch eines Mikroskops, welches zur Beobachtung im parallelen polarisierten Lichte mit zwei Nicol'schen Prismen versehen ist, kreuzt die Nicols und blickt hindurch, so beobachtet man nicht, wie zu erwarten, Dunkelheit, sondern eine von der Dicke der Platte abhängige Farbe. Dreht man nun den oberen Nicol (Analysator), so ändert sich die

Farbe und man beobachtet bei fortgesetzter Drehung der Reihe nach die verschiedenen Farben des Regenbogens. Hier aber zeigt sich ein wesentlicher Unterschied, je nachdem die Platte einem rechten oder einem linken Quarzkrystall entnommen ist. Im ersteren Falle bemerkt man die Farben in der Reihenfolge: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, wenn man den Analysator nach rechts dreht (wie der Zeiger der Uhr sich bewegt), im zweiten Falle hingegen, wenn man denselben nach links dreht. Es lässt sich also eine sehr bemerkenswerte Beziehung zwischen der krystallographischen Ausbildung und dem optischen Verhalten erkennen.

Wendet man bei dem beschriebenen Versuche statt des gewöhnlichen Tageslichtes solches von bestimmter Farbe, z. B. das gelbe Licht einer Weingeistlampe, deren Docht mit Kochsalz eingerieben ist, zur Beleuchtung der Krystallplatte an, so findet man, dass dieselbe zwar bei gekreuzten Nicols gleichfalls hell erscheint, jedoch dunkel wird, wenn man den oberen Nicol um einen bestimmten Winkel nach rechts oder nach links dreht, je nachdem der betreffende Krystall ein rechter oder linker ist. Hieraus schließt man, dass der Quarz die Eigenschaft habe, die Schwingungsrichtung eines polarisierten, ihn in der Richtung der Hauptachse durchlaufenden Strahles zu drehen, und zwar nach rechts, wenn er ein rechter, nach links, wenn er ein linker Krystall ist. Denn eben deshalb muss man den Analysator um jenen Winkel aus der gekreuzten Stellung drehen, damit er nun den aus der Platte kommenden Strahl auslöschen könne.

Die Größe des Drehungswinkels hängt in jedem einzelnen Falle von der Dicke der Platte und von der Art des durchgehenden Lichtes ab. Je dicker die Platte ist, um so stärker die Drehung. Verschiedenfarbige Strahlen erleiden eine sehr verschiedene Drehung, und zwar die roten die kleinste, die violetten die größte. Daher kommt es, dass man im gewöhnlichen, aus den Regenbogenfarben zusammengesetzten Tageslichte bei keiner Drehung des Analysators Dunkelheit der Platte beobachtet. Denn die aus der Platte austretenden Strahlen ungleicher Farbe schwingen in ganz verschiedenen Richtungen, können also nicht alle zugleich durch den oberen Nicol ausgelöscht werden. Man bemerkt vielmehr der Reihe nach die verschiedenen Regenbogenfarben, von denen immer eine am meisten vom Analysator durchgelassen wird.

Die Eigenschaft der Quarzkrystalle, die Schwingungsrichtung

des polarisierten Lichtes zu drehen, bezeichnet man als Circularpolarisation und den Quarz selbst als circularpolarisierend. Die Circularpolarisation findet nur in der Richtung der Hauptachse statt, während sich die Quarzkrystalle in allen anderen Richtungen ebenso wie andere optisch einachsige Krystalle verhalten.

Außer dem Quarz kennt man unter den Mineralien bisher nur eins, welches die Erscheinungen der Circularpolarisation zeigt. Dies ist der gleichfalls hexagonal mit trapezoedrischer Tetartoedrie krystallisierende Zinnober (Schwefelquecksilber HgS). Unter den künstlich dargestellten Substanzen giebt es jedoch mehrere, sowohl quadratische und hexagonale, als auch regulär krystallisierende, welche circularpolarisierend sind. Die regulären besitzen diese Eigenschaft jedoch nicht nur in der Richtung einer Achse, wie die quadratischen und hexagonalen in derjenigen der Hauptachse, sondern in jeder beliebigen Richtung des Krystalles. Auch bei ihnen hat man rechts- und linksdrehende Krystalle zu unterscheiden.

Eine reguläre circularpolarisierende Substanz, das chlorsaure Natron $NaClO_3$, haben wir früher (S. 155 u. f.) schon kennen gelernt. Seine Krystalle unterliegen der im regulären System möglichen Tetartoedrie und sind zweierlei Art, wie an der betreffenden Stelle gezeigt wurde. Die rechten und linken Individuen sind, ebenso wie diejenigen des Quarzes, enantiomorph; die einen sind dabei rechtsdrehend, die anderen linksdrehend. So finden wir denn auch hier wieder eine merkwürdige gesetzmäßige Beziehung zwischen der Ausbildung der Krystalle und ihrem optischen Verhalten.

Der Quarz besteht aus Kieselsäure-Anhydrid SiO_2. Vor dem Lötrohr ist er unschmelzbar. Von Säuren wird er nicht angegriffen, ausgenommen von Flusssäure. Nach dem Anätzen der Quarzkrystalle mit wässriger Flusssäure, auch mit geschmolzenem Ätzkali, treten die Zwillingsgrenzen an denselben sehr deutlich hervor.

Wenngleich manche Quarzkrystalle, wie z. B. die in den Porphyren befindlichen, ohne Zweifel bei hoher Temperatur entstanden sind und sich aus einer feurig flüssigen Masse ausgeschieden haben, so muss man doch annehmen, dass die meisten Krystalle unseres Minerals bei gewöhnlicher Temperatur aus wässriger Lösung sich gebildet haben. Freilich ist die Kieselsäure als solche in Wasser nur sehr wenig löslich (etwas löslicher schon in kohlen-

säurehaltigem Wasser), indes mögen teils die Krystalle in ungemessenen Zeiträumen gewachsen sein, teils auch aus solchen Lösungen sich ausgeschieden haben, aus welchen durch irgend welche chemische Umsetzungen Kieselsäure frei wurde. Die löslichen kieselsauren Salze des Kaliums und Natriums werden schon durch Kohlensäure unter Abscheidung der Kieselsäure zersetzt.

Manchmal spielte auch bei der Entstehung der Quarzkrystalle ein die Löslichkeit der Substanzen vergrößernder hoher Druck eine wichtige Rolle. Dies geht z. B. aus der Thatsache hervor, dass gewisse Bergkrystalle Tropfen von flüssiger Kohlensäure umschließen, welche aus der sonst gasförmigen Säure durch starken Druck verdichtet wurden. Diese Tropfen wurden von den fortwachsenden Krystallen eingeschlossen.

Häufig beobachtet man auch in den Quarzkrystallen andere Flüssigkeitseinschlüsse, welche bestimmt auf die Entstehung aus wässriger Lösung hindeuten, so z. B. solche, welche aus einer gesättigten Lösung von Kochsalz bestehen, worin sich wohl ein Kochsalzwürfelchen befindet. Ferner wurden schon über 40 verschiedene Mineralien in Quarzkrystallen eingeschlossen gefunden. So sieht man darin häufig haarförmige, manchmal recht lange Krystalle von Turmalin, Rutil, Epidot, Tafeln von Eisenglanz u. a. Die Farbe des Rauchtopases wird durch eine kohlenstoff- und stickstoffhaltige Substanz verursacht, welche bei 200° C. vollständig abdestilliert werden kann, so dass der Krystall wasserhell wird.

Es ist bekannt, dass der Bergkrystall und der Amethyst als sog. Halbedelsteine zu Schmucksachen und anderen Gegenständen verschliffen werden. Mehr noch, als dies jetzt geschieht, wurde der Bergkrystall in älterer Zeit zu Gefäßen und Luxusgegenständen verarbeitet. Die Römer waren mit dem alpinischen Vorkommen sehr bekannt und trieben großen Luxus damit. Als Nero vom Verluste seiner Herrschaft hörte, zerbrach er im Zorn seine zwei Krystallbecher, um sein Jahrhundert damit zu strafen, dass nicht ein anderer daraus trinken könne. Die römischen Ärzte bedienten sich der Krystallkugeln nach Art der Brenngläser, um damit die Wunden auszubrennen. Früher stand Bergkrystall in bedeutend höherem Werte als jetzt. In Oberstein, wo sich große Schleifereien befinden, verfertigt man auch Gewichtstücke aus demselben, welche sich durch ihre Unveränderlichkeit auszeichnen.

XXIII.

Rhombisches Krystallsystem. Schwefel, Schwerspat, Cölestin, Anhydrit. Verhalten rhombischer Krystalle im polarisierten Lichte.

Die Formen des rhombischen Krystallsystems werden auf drei Achsen bezogen, welche zwar auf einander senkrecht stehen, jedoch sämtlich verschieden lang und deshalb ungleichwertig sind. Von diesen drei Achsen wählt man bei jeder einzelnen im rhombischen System krystallisierenden Substanz eine zur Vertikalachse, welche also bei der üblichen Aufstellung der Krystalle senkrecht steht, und bezeichnet sie mit *c*. Die hierzu senkrechte Krystallfläche wird Basis genannt. Denkt man sich einen hierhingehörigen Krystall außer von der Basis von den vier Flächen des Protoprismas begrenzt, welche der Vertikalachse parallel gehen, die beiden anderen Achsen hingegen in der einfachen Länge resp. Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneiden, so besitzt die Basis die Gestalt eines Rhombus. Die beiden Diagonalen dieses Rhombus stimmen ihrer Richtung und Länge nach mit den beiden Achsen *a* und *b* überein, und man bezeichnet deshalb die längere dieser Achsen *b* als Makrodiagonale (lange Diagonale), die kürzere *a* als Brachydiagonale (kurze Diagonale). Die Krystalle werden nun so gestellt, dass die Achse *b* von rechts nach links verläuft, während *a* auf den Beschauer zugewendet ist. In dem Achsenverhältnisse $a : b : c$ setzt man $b = 1$; dann ist nach dem Gesagten *a* stets kleiner als 1, während *c* größer oder kleiner als 1 sein kann. Für den Schwefel ist z. B. $a : b : c = 0{,}8130 : 1 : 1{,}9037$, für den Schwerspat $= 0{,}7622 : 1 : 1{,}2416$.

Die Symmetrieverhältnisse sind im rhombischen System sehr infacher Art. Eine Haupt-Symmetrieebene giebt es nicht mehr, eil sämtliche Achsen ungleich sind. Deshalb ist auch keine Achse ls Hauptachse zu bezeichnen. Die durch a und b gelegte Ebene ennt man den basischen, die durch b und c gelegte den makro-iagonalen, und die durch a und c gehende den brachydiagonalen auptschnitt. Dies sind die drei einzigen Symmetrieebenen des ombischen Systems.

Die holoedrischen Formen zerfallen wieder in geschlossene und ffene. Geschlossene Formen sind die Pyramiden, offene die risмen, welche zum Teil Domen*) genannt werden, und die drei Endflächen oder inakoide**).

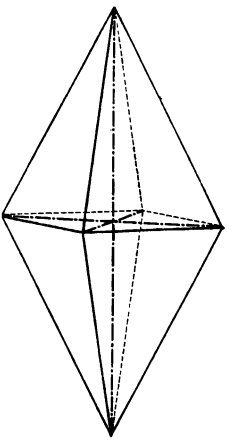


Fig. 211.

Die rhombischen Pyramiden (Fig. 11) werden umschlossen von acht ungleichseitigen Dreiecken. Sie besitzen vier längere härfere und vier kürzere stumpfere Polanten, sowie vier gleiche Randkanten. eben den von je zwei längeren und zwei ürzeren Polkanten gebildeten Polecken finen sich vier Randecken, welche von je wei Polkanten und zwei Randkanten gebilet werden und von denen zwei gegenüberegende spitzer und zwei stumpfer sind.

Da die drei Achsen des rhombischen ystems vollständig unabhängig von einander nd, so können sie in der verschiedensten Weise von den Flächen er Pyramiden, welche jedesmal alle Achsen schneiden, getroffen erden, und es ist deshalb in diesem System eine besonders große ahl von achtflächigen Pyramiden möglich. Dieselben lassen sich n drei Reihen ordnen. Man geht von der zur Grundform gewähln Pyramide, deren Flächen die drei Achsen in der einfachen änge schneiden, aus und bezeichnet sie mit P, entsprechend dem ymbol $a:b:c$; dann hat man zu unterscheiden:

1. Protopyramiden mit dem allgemeinen Symbol $a:b:mc$ der mP, z. B. $\frac{1}{2}P$, $2P$, $3P$. Dieselben stehen zur Grundpyramide P in derselben Beziehung, wie die Protopyramiden des

*) δῶμα, Dach. **) πίναξ, Tafel.

quadratischen und hexagonalen Systems zur Grundform. Sie unterscheiden sich von P nur durch die kürzere oder längere Vertikalachse.

2. Makropyramiden mit dem allgemeinen Symbol $a:nb:mc$ oder $m\breve{P}n$, z. B. $\breve{P}2$, $\frac{3}{4}\breve{P}\frac{3}{2}$. Bei diesen wird also die Vertikalachse in der $m$fachen, die Makrodiagonale in der $n$fachen Entfernung vom Achsenmittelpunkte geschnitten. Während aber m kleiner oder größer als 1 oder auch gleich 1 sein kann, ist n stets größer als 1. Die Brachydiagonale hingegen bleibt unverändert, d. h. sie wird in ihrer einfachen Länge geschnitten. Die Makropyramiden unterscheiden sich nach dem Gesagten von den Protopyramiden durch die $n$mal längere Makrodiagonale; daher das Zeichen der Länge (–) über P, entsprechend der größeren Ausdehnung der längeren Achse b.

3. Brachypyramiden mit dem allgemeinen Symbol $na:b:mc$ oder $m\breve{P}n$, z. B. $\breve{P}2$, $6\breve{P}\frac{1}{3}$. Während die Vertikalachse auch hier wieder in der $m$fachen Entfernung (m größer oder kleiner als 1 oder gleich 1) geschnitten wird, bleibt die Makrodiagonale unverändert, die Brachydiagonale a hingegen erscheint in der $n$fachen Länge, wobei n stets größer als 1 ist. Deshalb setzt man hier das Zeichen der Kürze (⏑) über P, entsprechend der größeren Ausdehnung der kürzeren Achse a.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass sich bei den rhombischen Pyramiden der vor P stehende Koeffizient stets auf die Vertikalachse, der hinter P stehende hingegen auf die Makro- resp. Brachydiagonale bezieht (je nachdem sich über P das Zeichen der Länge oder Kürze befindet).

Aus den geschlossenen Pyramiden gehen nun die offenen Formen dieses Systems in der Weise hervor, dass in jenen der Koeffizient m oder $n = \infty$, oder dass $m = 0$ wird.

Wird bei den Protopyramiden mP $m = \infty$, so gehen dieselben in das Protoprisma ∞P über, dessen vier Flächen und demnach auch seine Kanten der Vertikalachse parallel gehen. Von den Kanten sind zwei, an der Brachydiagonale gelegene, stumpfer, die beiden anderen schärfer. Der horizontale Querschnitt durch das Prisma ist ein Rhombus. Im einfachsten Falle wird das Protoprisma durch die Basis (basisches Pinakoid) $0P$ geschlossen.

Ebenso wie aus den Protopyramiden das Protoprisma, so gehen aus den Makro- und Brachypyramiden die Makro- und Brachyprismen hervor, wenn $m = \infty$ wird. Von beiden ist eine ganze

Reihe möglich, da der auf die Makro- resp. Brachydiagonale bezügliche Koeffizient n jeden beliebigen rationalen Wert (größer als 1) haben kann. Die Makroprismen erhalten das allgemeine Symbol $\infty\bar{P}n$, die Brachyprismen das Symbol $\infty\breve{P}n$. Beide Formenreihen unterscheiden sich von dem Protoprisma durch ihre längere Makro- resp. Brachydiagonale. Fig. 212 zeigt den horizontalen Querschnitt eines Protoprismas ∞P (punktiert), eines Makroprismas $\infty\bar{P}2$ und eines Brachyprismas $\infty\breve{P}2$, welcher die Beziehungen dieser Formen zu einander veranschaulicht.

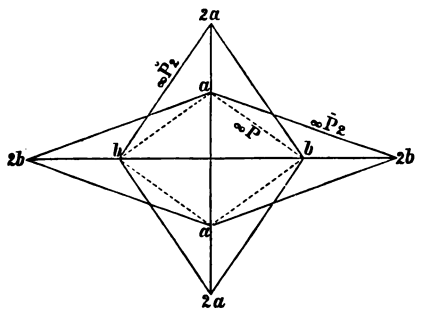


Fig. 212.

Das Protoprisma, sowie die Makro- und Brachyprismen bezeichnet man insgesamt auch als vertikale Prismen.

Neben den genannten Prismen giebt es noch andere vierflächige prismatische Formen, deren Kanten jedoch nicht parallel der Vertikalachse, sondern parallel der Makro- oder Brachydiagonale verlaufen. Wird bei den Makropyramiden $m\bar{P}n$ der auf die Makrodiagonale bezügliche Koeffizient $n = \infty$, so gehen dieselben in die sogen. Makrodomen $m\bar{P}\infty$ über, welche von vier der Makrodiagonale parallelen Flächen gebildet werden. Ihre Kanten verlaufen also bei der gewöhnlichen Aufstellung der Krystalle von rechts nach links.

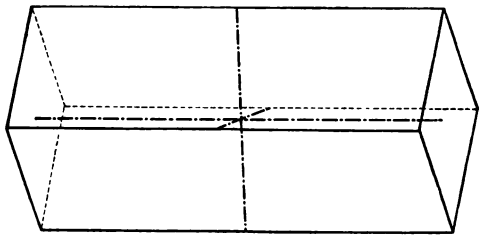


Fig. 213.

Ganz in derselben Weise geht aus den Brachypyramiden $m\breve{P}n$, indem $n = \infty$ wird, eine Reihe von Brachydomen $m\breve{P}\infty$ hervor, deren vier Flächen der Brachydiagonale parallel gehen, und deren Kanten bei der üblichen Aufstellung von vorn nach hinten verlaufen.

Man kann nach dem Gesagten die Makro- und Brachydomen im Gegensatz zu den vertikalen Prismen als horizontale Prismen bezeichnen.

Die Makrodomen werden im einfachsten Falle (Fig. 213 S. 255) durch das Brachypinakoid geschlossen, welches zu ihnen in der nämlichen Beziehung steht, wie die Basis zu sämtlichen vertikalen Prismen. Das Brachypinakoid besteht aus zwei Flächen, welche den Achsen a und c parallel gehen (in der Figur rechts und links), und erhält das Zeichen $\infty\breve{P}\infty$. Es kann also gleichsam als ein Brachyprisma $\infty\breve{P}n$ aufgefasst werden, bei welchem n den Wert ∞ erreicht hat.

Die Brachydomen werden im einfachsten Falle (Fig. 214) geschlossen durch das Makropinakoid, welches zu ihnen in derselben Beziehung steht wie das Brachypinakoid zu den Makrodomen. Es besteht aus zwei Flächen, welche den Achsen b und c parallel gehen (in der Figur vorn und hinten), und erhält demnach das Symbol $\infty\bar{P}\infty$. Man kann das Makropinakoid gleichsam als ein Makroprisma $\infty\bar{P}n$ betrachten, bei welchem n gleich ∞ geworden ist.

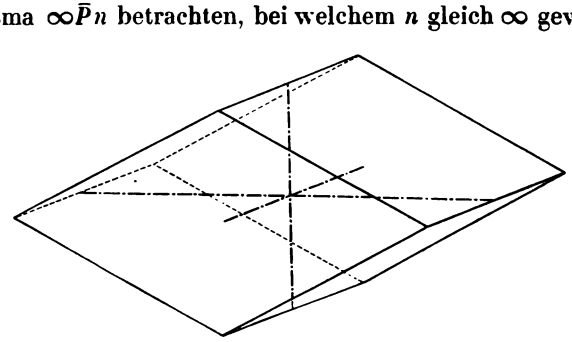


Fig. 214.

Zur besseren Übersicht seien im Folgenden die verschiedenen Formen des rhombischen Systems noch einmal zusammengestellt:

Protoreihe.	**Makroreihe.**	**Brachyreihe.**
Protopyramiden	Makropyramiden	Brachypyramiden
mP	$m\bar{P}n$	$m\breve{P}n$
Protoprisma	Makroprismen	Brachyprismen
∞P	$\infty\bar{P}n$	$\infty\breve{P}n$
—	Makrodomen	Brachydomen
—	$m\bar{P}\infty$	$m\breve{P}\infty$
Basisches Pinakoid (Basis)	Makropinakoid	Brachypinakoid
$0P$	$\infty\bar{P}\infty$	$\infty\breve{P}\infty$

Bei der folgenden Besprechung rhombisch krystallisierender Substanzen werden wir reichliche Gelegenheit finden, die mannig-

faltigen Kombinationen dieses Systems kennen zu lernen. Wir beginnen mit dem

1. **Schwefel.** Derselbe findet sich in der Natur in schönen Krystallen, welche man auch künstlich darstellen kann, indem man eine Lösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff, einer farblosen, sehr flüchtigen Flüssigkeit von der Formel CS_2, langsam verdunsten lässt. Die natürlichen Krystalle haben sich auf andere Weise gebildet. Sie sind größtentheils aus der Zersetzung von Schwefelwasserstoff H_2S hervorgegangen, welcher entweder gasförmig aus Spalten der Vulkane entweicht, oder gelöst in den sogen. Schwefelquellen auftritt. Kommt der Schwefelwasserstoff mit der atmosphärischen Luft in Berührung, so verbindet sich allmählich sein Wasserstoff mit dem Sauerstoff derselben zu Wasser, und der Schwefel wird frei, wie es folgende Gleichung ausdrückt:

$$H_2S + O = H_2O + S$$

Auch das in den Gasen der Vulkane vorhandene Schwefligsäureanhydrid SO_2 wirkt, namentlich bei Gegenwart von Wasserdampf, auf Schwefelwasserstoff zersetzend ein, indem sich wieder Wasser bildet und Schwefel abgeschieden wird:

$$2\,H_2S + SO_2 = 2\,H_2O + 3\,S$$

Die Krystalle des Schwefels zeigen gewöhnlich die Grundpyramide selbständig oder in Kombination mit einigen anderen Formen. Nun hat man zwar an mehreren Stellen Siciliens (Grube Cimicia bei Grotte, Cianciana) Schwefelkrystalle gefunden, bei welchen die abwechselnden Flächen von P, auch wohl von $\frac{1}{3}P$, mehr oder weniger zurücktreten, ja sogar ganz ausfallen, was auf das Vorhandensein einer sphenoidischen Hemiedrie hindeutet. Da jedoch die meisten Krystalle holoedrisch ausgebildet sind, so wollen wir bei unserer Beschreibung von der etwaigen Hemiedrie absehen. Sehr gewöhnlich tritt zu der Grundpyramide die stumpfere Protopyramide $\frac{1}{3}P$, deren Polecken meist durch die Basis $0P$ abgestumpft sind. Die scharfen Polkanten der Grundpyramide erfahren eine gerade Abstumpfung durch die Flächen des Brachydomas $\breve{P}\infty$. Weniger häufig bemerkt man das Protoprisma ∞P als Abstumpfung der Randkanten, noch seltener das Makrodoma $\bar{P}\infty$ als solche der stumpferen Polkanten der Grundpyramide.

In Fig. 215 S. 258, welche eine sehr häufige Kombination darstellt, ist $o = P$, $o' = \frac{1}{3}P$, $q = \breve{P}\infty$, $c = 0P$. Ein paar hübsche und große

Krystalle, welche von spitzen Kalkspatrhomboedern begleitet werden und von Sicilien stammen, zeigt Fig. 216. Der eine (links) weist nur die Flächen der Grundpyramide und der Basis auf, während die beiden anderen, welche in paralleler Stellung mit einander verwachsen sind und dem Beschauer die Basis zuwenden, außer P und $0P$ noch $\frac{1}{3}P$ und $\breve{P}\infty$ zeigen, also Fig. 215 entsprechen. Der obere dieser beiden Krystalle zeigt links einen Ansatz zur Ausbildung der Basis, worauf sich jedoch, infolge paralleler Fortwachsung, die Pyramide $\frac{1}{3}P$ erhebt, um schließlich doch durch $0P$ abgeschlossen zu werden.

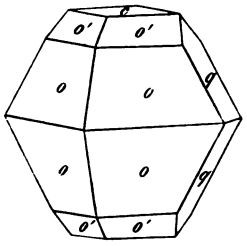


Fig. 215.

Fig. 216.

Zwillingsbildung findet, wenn auch ziemlich selten, nach drei verschiedenen Gesetzen statt. Dabei treten als Zwillingsebenen die Flächen derjenigen Formen auf, welche die Rand- oder Polkanten der Grundpyramide gerade abstumpfen, nämlich des Makrodomas $\bar{P}\infty$, des Brachydomas $\breve{P}\infty$ und des Prismas ∞P. Am häufigsten wird wohl die Zwillingsbildung nach den Flächen des Makrodomas beobachtet.

Die Schwefelkrystalle sind nur sehr unvollkommen spaltbar und besitzen muscheligen Bruch. Ihre Härte beträgt ungefähr 2, die Farbe ist schwefelgelb oder honiggelb. Die spiegelnden Krystallflächen zeigen Diamantglanz, die Bruchflächen Fettglanz. An durchsichtigen Exemplaren kann man die starke doppelte Lichtbrechung direkt beobachten. Der Schwefel ist ein Nichtleiter der Elektrizität und wird durch Reiben mit Wolle negativ elektrisch. Spez. Gew. = 1,9—2,1. Schmelzpunkt 112°, Siedepunkt 450°.

Die schönsten und größten, oft zu prächtigen Drusen vereinigten Schwefelkrystalle kommen von Sicilien. Hier findet sich der

Schwefel, zusammen mit krystallisiertem Cölestin, Gyps, Aragonit und Kalkspat in Spalten und Hohlräumen von Mergel, Thon und Gyps, im Gebiete von Girgenti und Caltanisetta. Die schwefelführenden Schichten sind jüngeren Ursprungs (tertiär), und der Schwefel hat sich daselbst unzweifelhaft aus schwefelwasserstoffhaltigen Quellen abgesetzt. Schöne, in gleicher Weise gebildete Krystalle finden sich auch, zusammen mit Asphalt, bei Ferrara in der Romagna auf Klüften des Kalksteins, desgleichen bei Lorca und Conil (bei Cadix) in Spanien. Kleinere, durch Zersetzung von gasförmigem Schwefligsäureanhydrid oder Schwefelwasserstoff, auch wohl durch Sublimation von gediegenem Schwefel entstandene Krystalle kommen vom brennenden Berg bei Dudweiler, von der brennenden Steinkohlenhalde von Hänichen bei Dresden, der Solfatara bei Neapel, von Colusa County in Californien und anderen Orten.

Wir haben schon im zweiten Kapitel gesehen, dass man durch Schmelzen und Erstarrenlassen des Schwefels nadelförmige Krystalle desselben erhalten kann. Diese Krystalle unterscheiden sich wesentlich von den eben besprochenen, indem sie dem monoklinen System angehören. Der Schwefel ist dimorph, welche Eigenschaft desselben schon bei Besprechung des Polymorphismus (Kap. VII) näher erörtert wurde.

2. Schwerspat. Dieses auf Erzgängen sehr verbreitete Mineral trägt seinen Namen von dem verhältnismäßig hohen spezifischen Gewicht (4,48); es besteht aus schwefelsaurem Baryt $BaSO_4$. Seine Krystalle, welche stets deutlich die Symmetrieverhältnisse des rhombischen Systems erkennen lassen, sind in mannigfaltiger Weise ausgebildet; bisweilen ist ihr Flächenreichtum ein großer. Wir müssen uns darauf beschränken, einige der wichtigsten Kombinationen kennen zu lernen. Dabei gehen wir von denjenigen Formen aus, welchen eine vollkommene resp. ziemlich vollkommene Spaltbarkeit entspricht, nämlich der Basis $0P$ und dem Protoprisma ∞P. Beide kommen oft kombiniert vor, die betreffenden Krystalle erscheinen tafelartig nach $0P$ mit einem stumpfen ebenen

Fig. 217.

Winkel von 101° 40′. Solche einfache Tafeln finden sich besonders ausgezeichnet in Ungarn (Schemnitz, Felsöbanya). Eine Stufe von Felsöbanya giebt Fig. 217 S. 259 wieder. Die prächtigen, hübsch gruppierten Tafeln von gelblich-weißer Farbe finden sich in Gesellschaft von Nadeln eines anderen Minerals, des aus Schwefelantimon Sb_2S_3 bestehenden Grauspießglanzes. Dieselben zeigen lebhaften Metallglanz und sind zu Büscheln vereinigt, welche von einem Punkte ausstrahlen. Sie gehören gleichfalls dem rhombischen System an. Die Schwerspattafeln erscheinen nun von den Nadeln wie aufgespießt oder durchstochen. In Wirklichkeit ist jedoch anzunehmen, dass letztere zuerst da waren, und dass sich erst später die Schwerspattafeln auf ihnen und sie oft umschließend gebildet haben. Durch eine Oxydation des Grauspießglanzes entsteht Antimonocker (Sb_2O_3) von gelblicher Farbe, welcher stellenweise die Nadeln des ersteren, aber auch die Flächen des Schwerspats überzieht. — Oft bemerkt man an den scharfen Prismenkanten der Tafeln die Flächen des Brachydomas $\breve{P}\infty$, welche mit $0P$ einen Winkel von 127° 19′ bilden.

Die nach $0P$ ausgedehnten Schwerspatkrystalle zeigen indes sehr häufig statt des rhombischen einen rechteckigen Umriss. Dann treten zur Basis namentlich ein Makrodoma $\frac{1}{2}\bar{P}\infty$ und das erwähnte Brachydoma $\breve{P}\infty$. Die Flächen des ersteren sind gegen $0P$ unter 141° 8′ geneigt. Dehnt sich nun eines der beiden Domen besonders stark aus, so erhalten die Krystalle einen säulenförmigen Habitus, indem sie nach der Makro- oder Brachydiagonale gestreckt sind. Gern tritt das Protoprisma hinzu, wie in der Kombination Fig. 218. Daselbst ist $c = 0P$, $r' = \frac{1}{2}\bar{P}\infty$, $q = \breve{P}\infty$, $p = \infty P$, $o = P$. Häufig ist die Kante $r' : c$ durch ein anderes Makrodoma $\frac{1}{4}\bar{P}\infty$ abgestumpft. Zuweilen erscheint auch $\bar{P}\infty$, ja dasselbe dehnt sich an gewissen Krystallen (Bleiberg bei Siegen) zu langen Säulen mit einem stumpfen Winkel von 116° 21′ aus. — Zwillinge von Schwerspat sind nicht bekannt.

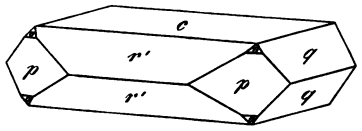


Fig. 218.

Die Schwerspattafeln werden manchmal sehr dünn und zeigen dann wohl übereinander liegend lebhaften Perlmutterglanz. Je dünner die Tafeln sind, um so lieber stellen sie sich auf die schmale Seite. Dabei gruppieren sie sich gern zu halbkugeligen Rosetten, die sich

auf das Mannigfaltigste in einander verschränken. So erscheinen sie z. B. auf Flussspat aufsitzend im Münsterthal (Schwarzwald). Auch sind die Krystalle wohl zu hahnenkammartigen oder baumförmigen Gruppen zusammengefügt. Große tafelförmige Pseudomorphosen von Quarz nach Schwerspat finden sich zu Butzbach bei Gießen. Häufig kommen derbe blättrige, körnige oder dichte Massen von Schwerspat vor.

Oft ist der Schwerspat farblos oder weiß, oft auch mannigfach gefärbt: grau, gelb, rot, bläulich, grünlich. Seine Härte beträgt 3—3,5, er ist glas- bis fettglänzend; die optischen Achsen liegen in der Achsenebene $a\,c$ (s. unten).

Man hat auf verschiedene Weise künstlich Schwerspatkrystalle dargestellt. Solche entstehen sowohl in der Hitze, wenn man z. B. Chlorbaryum mit schwefelsaurem Kali zusammenschmilzt, als auch auf nassem Wege bei gewöhnlicher Temperatur, wenn man eine Lösung von salpetersaurem Baryt mit derjenigen eines schwefelsauren Salzes allmählich zusammentreffen lässt. Der schwefelsaure Baryt, welcher sich dann infolge wechselseitiger Zersetzung langsam ausscheidet, nimmt dabei Krystallform an. Jedes Vorkommen von Schwerspatkrystallen in der Natur lässt übrigens deutlich erkennen, dass die Bildung derselben auf nassem Wege stattgefunden hat. Selbst in Versteinerungen, wie in den Kammern von Ammoniten, haben sich Schwerspatkrystalle angesiedelt.

Am verbreitetsten ist unser Mineral auf Gängen, wo seine Krystalle häufig zu prächtigen Drusen vereinigt sind. Es begleitet oft mit Quarz den Bleiglanz, gediegenes Silber und Kobalterze. Schöne Krystalle kommen beispielsweise von Freiberg und Annaberg in Sachsen (meist rechteckig-tafelförmige Krystalle, doch auch rhombische Tafeln), Ilefeld, Andreasberg und Clausthal im Harz (große Tafeln; an letzterem Orte mehrere Zoll große, blassblaue durchsichtige Krystalle mit $0P$, $\breve{P}\infty$, $\frac{1}{2}\bar{P}\infty$ und ∞P), Przibram in Böhmen (mannigfaltige Formen, meist in der Richtung der Makrodiagonale verlängert, seltener die Kombination $0P \cdot \infty P$), Schemnitz und Felsöbanya in Ungarn (s. oben), Courtade in der Auvergne (bis zu mehreren Zoll lange, durchsichtige Krystalle von einer dem Rauchtopas ähnlichen Farbe, welche nach der Brachydiagonale verlängert sind; $\breve{P}\infty$ herrscht vor, während an den Enden $\frac{1}{2}\bar{P}\infty$ und ∞P erscheinen), Dufton in Westmoreland (große schöne dicktafelförmige, meist wasserhelle Krystalle mit mehreren Makro-

domen, ferner $\breve{P}\infty$, ∞P und den Pinakoiden $\infty\breve{P}\infty$ und $\infty\bar{P}\infty$. Slatoust im Ural (hier Krystalle, welche sich durch das Vorherrschen verschiedener vertikaler Prismen, wie $\infty\bar{P}2$, ∞P, $\infty\breve{P}2$, sowie von $\infty\bar{P}\infty$ und $\infty\breve{P}\infty$ auszeichnen und auch wohl mit dem besonderen Namen »Wolnyn« belegt werden).

3. **Cölestin.** An den Schwerspat schließt sich ein mit demselben isomorphes Mineral an, welches aus schwefelsaurem Strontian $SrSO_4$ besteht und wegen der himmelblauen Farbe, die es zuweilen zeigt, Cölestin genannt wurde. Es kommt zwar bei weitem nicht so verbreitet und in solcher Menge vor wie der Schwerspat, dennoch findet man es an vielen Orten in Drusenräumen und auf Gängen in jüngeren Gebirgsformationen, namentlich im Kalkstein. Bekannt sind die blauen Krystalle von Leogang in Salzburg, Herrengrund in Ungarn, die farblosen bis bläulichen von Pschow bei Ratibor in Oberschlesien und Bristol in England, besonders aber die schönen farblosen, welche mit Schwefel, Kalkspat und Gyps auf Sicilien (Girgenti, Caltanisetta, Rocalmuto) vorkommen. Hübsche blaue Cölestine finden sich auch in den Kammern der Ammoniten des schwäbischen Jura.

Meist sind die Krystalle säulenförmig durch Vorherrschen von $\breve{P}\infty$, indem sie sich, was beim Schwerspat seltener der Fall ist, nach der Brachydiagonale in die Länge strecken. Die scharfe Kante dieser Säulen (von 76°) ist in der Regel durch die Basis gerade abgestumpft, während am Ende derselben ∞P und $\frac{1}{2}\bar{P}\infty$, auch $\infty\bar{P}\infty$ auftreten. Doch erscheinen auch gern verschiedene Pyramiden, wie P und solche mit längerer Brachydiagonale (Brachypyramiden), z. B. $\breve{P}2$, $\breve{P}3$, $\breve{P}4$, wobei der säulenförmige Habitus wohl in einen spitzpyramidalen übergeht. Seltener beobachtet man nach $0P$ tafelförmige Cölestine, so zuweilen auf Sicilien solche, welche, entsprechend der gewöhnlichen Schwerspatform, rechteckigen Umriss zeigen. Als Randflächen erscheinen wieder $\breve{P}\infty$ und $\frac{1}{2}\bar{P}\infty$. Rechteckig- oder rhombisch-tafelförmige Kombinationen weisen ferner die Krystalle von Bristol auf, sowie die prachtvoll durchsichtigen, bis mehrere Zoll großen von der Strontianinsel im Eriesee (Nordamerika).

Hinsichtlich der Spaltbarkeit, der Härte und des optischen Verhaltens stimmt der Cölestin mit Schwerspat überein. Sein spezif. Gewicht ist jedoch geringer, 3,9—4. Auch unterscheidet sich der

Cölestin vom Schwerspat dadurch, dass er vor dem Lötrohr stark erhitzt die Flamme karminrot färbt, während Schwerspat eine gelblich-grüne Färbung giebt.

Mit den beiden genannten Mineralien isomorph ist noch das Vitriolbleierz $PbSO_4$, dessen meist kleine, aber oft sehr flächenreiche, diamantglänzende Krystalle sich namentlich auf zersetztem Bleiglanz (PbS) finden.

4. **Anhydrit.** Obgleich dieses rhombisch krystallisierende Mineral, aus schwefelsaurem Kalk $CaSO_4$ bestehend, eine ganz ähnliche chemische Zusammensetzung hat, wie die eben besprochenen Mineralien, ist es doch nicht mit denselben isomorph, wie man erwarten sollte, wenigstens lassen sich seine Formen nicht ungezwungen mit denen des Schwerspats, Cölestins und Vitriolbleierzes vergleichen. Einzelne Krystalle von Anhydrit sind ziemlich selten, wohl aber findet man oft als Begleiter von Steinsalz und Gyps größere krystallinische Massen desselben, an welchen die sehr deutliche Spaltbarkeit nach den drei Endflächen: der Basis, dem Makro- und Brachypinakoid auffällt. Am wenigsten vollkommen ist dieselbe nach $0P$, auf welcher Fläche ein fettartiger Glanz herrscht, sehr und fast gleich vollkommen nach $\infty\breve{P}\infty$ und $\infty\bar{P}\infty$. Man kann deshalb durch Spaltung leicht würfelähnliche Stücke herstellen. Solche Formen finden sich auch z. B. bei Berchtesgaden, von wo die in Fig. 219 wiedergegebene Stufe herrührt. Die abgebildeten Anhydritkrystalle sind von grauer Farbe, die Flächen mit größter Spaltbarkeit glänzend, die anderen matt. Auf dem Anhydrit haben sich zahlreiche farblose bis rotbraune Nädelchen von Gyps angesiedelt. Von dem genannten Fundorte kommen auch rechtwinklig-tafelförmige Krystalle, welche neben vorwaltendem Makro- und Brachypinakoid mehrere Brachydomen zeigen. Nicht selten erscheinen auch die Flächen des Protoprismas und mehrerer Pyramiden, so an den Krystallen von Aussee in Steiermark. Der Winkel des Prismas ∞P weicht kaum von einem Rechten ab (90° 4′). Im Kieserit ($MgSO_4 + H_2O$)

Fig. 219.

von Stassfurt stecken ringsum ausgebildete Krystalle von Anhydrit, welche man durch Auflösung des umhüllenden Salzes für sich erhält. An denselben herrscht ein nach der Brachydiagonale gestrecktes und gestreiftes Brachydoma $\breve{P}\infty$, wodurch (annähernd rechtwinklige) Prismen entstehen, welche an den Enden durch $\infty\bar{P}\infty$ und ∞P (nach der Vertikalachse gestreift) begrenzt werden. An den Spaltungsstücken von Berchtesgaden hat man Zwillinge beobachtet, welche dem Gesetze: »Zwillingsebene eine Fläche von $\breve{P}\infty$« folgen.

Die Härte des Anhydrits ist 3, sein spezif. Gewicht 2,8—3. Er ist farblos oder weiß, aber auch manchmal bläulich, grau oder rot. Künstliche Krystalle hat man erhalten durch Zusammenschmelzen von schwefelsaurem Kali mit Chlorcalcium. Ohne Zweifel ist indessen der in der Natur vorkommende Anhydrit auf nassem Wege entstanden. Sehr interessant ist sein Verhältnis zum Gyps, welcher sich von ihm durch einen Mehrgehalt von zwei Molekülen Krystallwasser unterscheidet ($CaSO_4 + 2\,H_2O$). Der Anhydrit hat nämlich, besonders im pulverisierten Zustande, die Neigung, allmählich Wasser aufzunehmen und sich in Gyps zu verwandeln. Dabei nimmt sein Volumen um fast zwei Drittel zu. Manchmal lässt sich dieser Vorgang im Gebirge beobachten, indem das Anhydritgestein an der feuchten Luft vor und nach aufschwillt und gypsig wird. Umgekehrt kann sich aber auch aus Gyps Anhydrit bilden. Dies geschieht z. B., wenn man gepulverten Gyps mit einer konzentrierten Lösung von Kochsalz erhitzt. Benetzt man dann die veränderte Substanz mit reinem Wasser, so kann man unter dem Mikroskop beobachten, wie sich die Teilchen derselben wieder in Gypskryställchen umwandeln. An einer Pumpe in Schöningen setzte sich auf dem Inneren der Röhre Anhydrit ab, so lange sie gesättigte Salzsole hob. Als jedoch zufällig Süßwasser hinzukam, bildete sich Gyps. Da nun im Inneren der Salzgebirge der Gyps häufig in Anhydrit übergeht und sich damit aufs mannigfachste mischt, so haben auch hier wahrscheinlich ähnliche Vorgänge und Umwandlungen stattgefunden. Besonders reich an Anhydrit sind die alpinen Salzlagerstätten: Aussee, Hallein, Berchtesgaden, Hall in Tirol, Bex in der Schweiz. Im Stassfurter Salzlager bildet der Anhydrit, mit Steinsalzschichten abwechselnd, zahllose dünne Lagen. Andere Fundorte sind Lüneburg, Sulz am Neckar, Wieliczka. Auf Erzgängen ist der Anhydrit eine Seltenheit. Ebenso vereinzelt ist sein Vorkommen

als Produkt vulkanischer Thätigkeit; kleine Kryställchen finden sich in den Auswürflingen des Vesuv und in der Lava von Santorin.

Schon im V. Kapitel wurde die doppelte Brechung des Lichtes bei rhombisch krystallisierenden Substanzen besprochen und bemerkt, dass es bei ihnen zwei Richtungen innerhalb der Krystalle gebe, in welchen nur einfache Lichtbrechung stattfindet. Auch wurde schon darauf hingewiesen, dass diese beiden Richtungen, die optischen Achsen, in einer der drei Achsenebenen liegen. Wir wollen nun hinzufügen, wie sich Platten rhombischer Krystalle, nach verschiedenen Richtungen geschliffen, im parallelen oder konvergenten polarisierten Lichte (vergl. S. 209 u. 211) verhalten. Betrachtet man eine nach der Basis, dem Makro- oder dem Brachypinakoid geschliffene Platte im parallelen polarisierten Lichte zwischen gekreuzten Nicols, so bemerkt man im allgemeinen Helligkeit; eine Auslöschung (Verdunkelung) tritt nur dann ein, wenn eine der beiden in der Plattenebene liegenden krystallographischen Achsen (also *a* und *b*, *b* und *c* oder *a* und *c*) mit einem Nicolhauptschnitte zusammenfällt. Eine Platte, welche nach einer Prismenfläche (und zwar sowohl nach einem vertikalen Prisma als nach einem horizontalen, d. i. einem Makro- oder Brachydoma) geschliffen ist, zeigt Auslöschung, wenn eine Kante des betreffenden Prismas (oder eine dazu senkrechte Linie) mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt. Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Lage der Auslöschungsrichtungen genau der Symmetrie des rhombischen Systems entspricht, indem sie zusammenfällt mit derjenigen Richtung (und mit der dazu senkrechten), in welcher die betreffende Krystallfläche von einem zu ihr senkrechten Hauptschnitt (resp. einer Achsenebene) geschnitten wird. Die Auslöschungsrichtungen auf den genannten Flächen lassen demnach in zweifelhaften Fällen erkennen, ob ein Krystall wirklich drei auf einander senkrechte Hauptschnitte (Symmetrieebenen) besitzt, d. h. ob er, da das quadratische und hexagonale System selbstredend ausgeschlossen sind, dem rhombischen Systeme angehört. Häufig ist man nicht genöthigt, Platten zu schleifen, um die Beobachtungen im polarisierten Lichte anzustellen, sondern man kann dazu direkt dünntafelförmige oder prismatische Krystalle oder auch Spaltungsstücke verwenden. Geeignete Objekte zur Übung bieten

die dünnen Tafeln des Schwerspats ($0P \cdot \infty P$), die nach der Brachydiagonale gestreckten Prismen von Cölestin mit vorherrschendem $\breve{P}\infty$, sowie die so leicht zu erhaltenden Spaltungsplatten von Anhydrit. Man findet bei den ersteren die Auslöschungsrichtungen auf $0P$ parallel den Diagonalen des von ∞P begrenzten Rhombus, beim Cölestin auf $\breve{P}\infty$ parallel und senkrecht zur Längsrichtung der prismatischen Krystalle, auf einer Endfläche ($0P$, $\infty\bar{P}\infty$ oder $\infty\breve{P}\infty$) des Anhydrits parallel dem rechteckigen Umriss, d. i. dem Durchschnitt der betreffenden Fläche mit den beiden anderen Hauptschnitten.

Werden von einem Krystalle des rhombischen Systems Platten parallel zu den drei Endflächen geschnitten und im konvergenten polarisierten Lichte zwischen gekreuzten Nicols in der Stellung betrachtet, dass ihre Auslöschungsrichtungen den Nicolhauptschnitten parallel gehen, so zeigt eine derselben ein Bild der optischen Achsen, wie es etwa Fig. 220 darstellt. Durch die Mitte des Gesichtsfeldes geht ein schwarzes Kreuz, dessen zwei gegenüberliegende Arme,

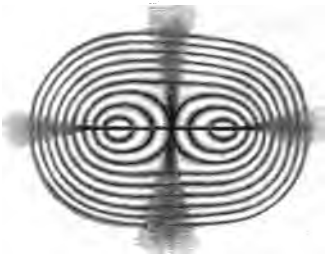


Fig. 220.

Fig. 221.

welche der Ebene der optischen Achsen parallel sind, ungleich schmäler und schärfer begrenzt erscheinen, als die senkrecht dazu stehenden, mehr verwaschenen. Die zwei, beiderseits gleich weit von der Mitte des Gesichtsfeldes abstehenden Punkte, welche den in der Richtung je einer optischen Achse durch die Platte gehenden Strahlen entsprechen, sind von ovalen, dunklen und hellen Ringen umgeben, welche sich in weiterem Abstande zu je einer Kurve vereinigen. Diese krummen Linien werden Lemniskaten genannt. Während man bei Anwendung von Licht einer bestimmten Farbe (vergl. S. 249) in dem Achsenbilde nur helle und dunkle Stellen

unterscheidet, erscheinen die Lemniskaten bunt, wenn man sich zur Beleuchtung des weißen Tageslichtes bedient. Jeder Ring resp. jede Kurve besteht eigentlich aus mehreren verschiedenfarbigen, welche ein wenig gegen einander verschoben sind. Dabei entspricht aber die Anordnung der verschiedenen Farben wieder genau der Symmetrie der Fläche, d. h. das farbige Bild wird nach beiden Armen des dunklen Kreuzes symmetrisch halbiert.

Dreht man die Krystallplatte in ihrer eigenen Ebene um 45°, während die Nicols gekreuzt bleiben, so ändern sich die Ringe nicht, dagegen verwandeln sich die vorher geradlinigen Kreuzarme in zwei nach außen gekrümmte, durch die Achsenpunkte gehende Linien (Hyperbeln); man erhält das Bild Fig. 221.

Bei allen dem rhombischen System angehörigen Krystallen wird der spitze Winkel, welchen die optischen Achsen mit einander bilden, von einer der drei krystallographischen Achsen halbiert, welche man deshalb als optische Mittellinie bezeichnet. Man beobachtet nun das optische Achsenbild durch eine Platte, welche zu dieser Mittellinie senkrecht geschliffen ist. So ist z. B. beim Schwerspat die Ebene der Achsen *a* und *c* (das Brachypinakoid) die optische Achsenebene; die Achse *a* ist die optische Mittellinie. Hieraus folgt, dass man eine Platte parallel zum Makropinakoid schleifen muss, um das Achsenbild zu sehen. Ebenso ist es beim Cölestin, während beim Anhydrit die optischen Achsen in der Ebene der Achsen *b* und *c* (dem Makropinakoid) liegen und ihr Bild, weil die Vertikalachse *c* optische Mittellinie ist, durch eine Spaltungsplatte nach der Basis beobachtet wird.

XXIV.

Aragonit, Strontianit, Weifsbleierz, schwefelsaures Kali, Markasit.

1. Der **Aragonit**, welcher ebenso wie der Kalkspat aus kohlensaurem Kalk besteht (vergl. S. 62), ist eines der interessantesten Mineralien. Seinen Namen erhielt er von dem Vorkommen der zuerst bekannt gewordenen Krystalle aus dem Gyps von Molina in Aragonien.

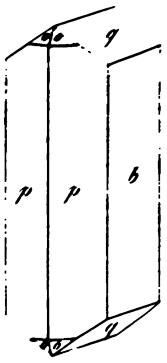


Fig. 222.

Da beim Aragonit ungemein häufig Zwillingsbildung stattfindet, so sind einfache Krystalle selten. Solche finden sich z. B. unter den weingelben, durchsichtigen aus dem Basalt von Horschenz bei Bilin (Böhmen). Dieselben zeigen einfache Kombinationen wie Fig. 222. Daran erscheint das beim Aragonit fast nie fehlende Protoprisma $p = \infty P$ mit einem vorderen stumpfen Winkel von 116° 10′. Die scharfen Seitenkanten desselben sind durch das Brachypinakoid $b = \infty \breve{P} \infty$ gerade abgestumpft. Hierzu treten noch das Brachydoma $q = \breve{P} \infty$ mit einem Polkantenwinkel von 108° 28′ und die Grundpyramide $o = P$. Andere einfache Krystalle sind noch mehr nach der Vertikalachse gestreckt und zeigen spießige Formen, indem statt der Grundpyramide verschiedene steilere Pyramiden, z. B. $6\breve{P}\frac{1}{3}$, vorherrschend auftreten, und das Brachydoma $\breve{P}\infty$ fast ganz durch solche mit längerer Vertikalachse, wie $6\breve{P}\infty$, verdrängt wird. Solche spießige Krystalle

kommen besonders auf Kalkstein- und Brauneisenerzlagern vor (Wolkenstein in Sachsen, Saalfeld in Thüringen, Hüttenberg in Kärnthen).

Die Zwillingsbildung erfolgt immer nach dem Gesetz: »Zwillingsebene eine Fläche des Protoprismas ∞P«. Der einfachste Fall, wie er an den Krystallen von Horschenz vorkommt, ist in Fig. 223 dargestellt. Sehr oft ist aber der einspringende Winkel, welchen die Flächen b und $\underline{b}$ bilden, durch Vorherrschen von p verdeckt, und man bemerkt nur denjenigen von q und $\underline{q}$. Häufig ist an den zweiten Krystall noch ein dritter nach demselben Gesetz angewachsen. Hierbei sind aber zwei Fälle möglich: entweder ist die zweite Zwillingsebene der ersten parallel oder sie entspricht dem anderen Prismenflächenpaar des zweiten Individuums. Im ersteren Falle

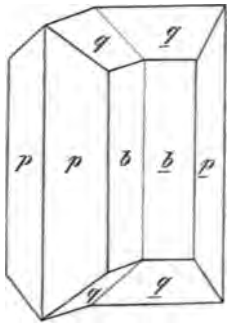


Fig. 223.

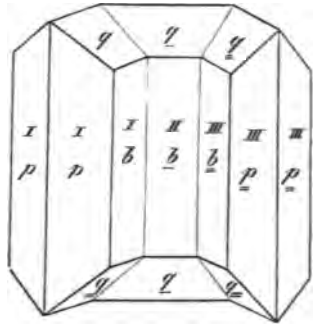


Fig. 224.

bildet das dritte Individuum gleichsam nur eine Fortsetzung des ersten, da es mit demselben genau gleiche Stellung hat. Es ist eine wiederholte Zwillingsbildung. Oft ist dabei das mittlere Individium stark verkürzt. Dann erscheint die Gruppe wie ein Krystall, in welchen eine in Zwillingsstellung befindliche Lamelle eingewachsen ist. Nicht selten ist diese Lamelle so dünn, dass man sie äußerlich nur als feine Linie wahrnimmt, ja es finden sich Aragonitkrystalle mit einer großen Zahl solcher Zwillingslamellen, welche eine Streifung der Flächen q und b verursachen. In dem zweiten erwähnten Falle, wo die beiden Zwillingsebenen nicht parallel sind, entsprechen dieselben den beiden zu einander geneigten Prismenflächen (resp. Flächenpaaren) des mittleren Krystalles. An diesen ist also beiderseitig ein Individuum angewachsen, und alle drei

haben eine verschiedene Stellung Fig. 224 S. 269). Sie bilden einen Drilling. Legte sich an den dritten Krystall in gleicher Weise ein vierter an u. s. w., so könnten, da der spitze Winkel des Prismas nahezu 60° beträgt und von jedem Individuum nach innen gewendet wird, deren sechs einen Ring schließen. Dasselbe würde annähernd der Fall sein, wenn sich an ein Individuum zwei andere so anlagerten, dass alle drei den stumpfen Prismenwinkel (von fast 120°) nach innen wendeten. Solche und ähnliche Verwachsungen finden sich nun häufig; sie haben oft das Ansehen von einfachen hexagonal-sechsseitigen Säulen, doch verrät sich die Zwillingsnatur meist durch stumpfe Knickungen und Zwillingsnähte auf den vertikalen Flächen.

Manchmal sind auch drei Krystalle von der gegenseitigen Stellung wie in Fig. 224 nicht an einander, sondern ganz durch einander gewachsen. Sind sie dann durch die starke Ausdehnung des Brachypinakoids (*b*) nach diesem tafelförmig, so erscheint der Drilling, von oben gesehen, wie ein sechsstrahliger Stern, dessen Strahlen nahezu 60° mit einander bilden.

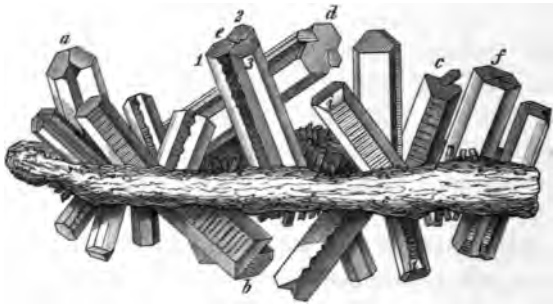


Fig. 225.

Wegen der großen Mannigfaltigkeit, welchen die Aragonitzwillinge trotz der Einfachheit des Gesetzes aufweisen, bietet eine genauere Betrachtung und ein eingehenderes Studium derselben ein besonderes Interesse dar. Zu einem solchen Studium eignen sich namentlich die schönen Krystalle von Herrengrund in Ungarn. Dieselben finden sich auf einer Kupfererzlagerstätte. Eine hübsche Stufe von diesem Fundorte stellt Fig. 225 dar. Die säulenförmigen Krystalle zeigen das Protoprisma mit glatten, das Brachypinakoid mit stark horizontal gestreiften Flächen. Hierzu tritt nun die Basis,

welche nach der Brachydiagonale gestreift ist. Oft erscheint noch ein Brachydoma (in der Figur mit *i* bezeichnet), die Kante zwischen $\infty\breve{P}\infty$ und $0P$ abstumpfend.

Die Zusammensetzung der Krystalle ist in der Figur im wesentlichen genau wiedergegeben. Einzelne Krystalle sind einfach, was man daran erkennt, dass die Streifung auf $0P$ nur eine Richtung besitzt. Die meisten hingegen zeigen auf $0P$ verschieden gerichtete Streifen, der sicherste Beweis für ihre Zwillingsnatur. Die Streifung auf der Basis giebt ein vorzügliches Mittel an die Hand, um die Art der Zwillingsverwachsung im einzelnen zu erforschen. Betrachten wir einige Beispiele etwas genauer! Die Krystalle *a* und *b* bestehen aus zwei, ungefähr gleich großen Individuen; die beiderseitigen Streifen stoßen unter einem Winkel von 63° 50′ zusammen. Bei Krystall *c* ist einem stärker entwickelten Individuum ein kleineres in Zwillingsstellung angefügt. Ein Drilling ist *d*. Er besteht aus einem größeren Stammkrystall, welcher an zwei gegenüberliegenden Seiten je ein kleineres Individuum trägt. Weit symmetrischer ausgebildet ist der Drilling *e*. Die drei verbundenen Individuen sind gleich stark entwickelt. An das in der Figur links befindliche (mit 1 bezeichnet) haben sich die beiden anderen (2 und 3) in Zwillingsstellung angelagert, indem sie dasselbe in einer Prismenfläche berühren. Die Streifen auf $0P$ von 1 und 2, sowie von 1 und 3 stoßen unter einem Winkel von 116° 10′ (dem Winkel des Prismas ∞P) zusammen. Die Individuen 2 und 3 hingegen befinden sich zueinander nicht in Zwillingsstellung. Eigentlich müsste sich zwischen ihnen eine Lücke befinden, da die drei Individuen den Kreis nicht vollkommen schließen, sondern einen Raum von 11° 30′ frei lassen ($360° - 3 \cdot 116° 10' = 11° 30'$). Diesen Zwischenraum füllten aber die beiden Krystalle 2 und 3 aus, indem sie in denselben weiter wuchsen. Sie berühren sich dabei jedoch nicht in einer ebenen, sondern in einer unregelmäßig gekrümmten Fläche. Der mit *f* bezeichnete Krystall endlich ist ein Durchwachsungszwilling; man bemerkt auf $0P$ nur zweierlei Streifen. Jedes Individuum füllt zunächst einen Raum von annähernd 120° aus; in den übrigbleibenden teilen sich beide, wobei sie jedoch ihre Lage vertauschen.

Sehr oft ist die Zwillingsverwachsung eine kompliziertere, und die mit einander verbundenen Krystalle können vielfach in den feinsten Lamellen mit einander abwechseln. Dies zeigt an einem

Beispiele desselben Fundortes Fig. 226, welche nur die Basis in vergrößertem Maßstabe wiedergiebt. Die Streifen auf $0P$ sind hier meist durch gleichgerichtete Furchen ersetzt, welche auf eine natürliche Ätzung zurückzuführen sind, die höchst wahrscheinlich durch die Einwirkung von kohlensäurehaltigem Wasser stattgefunden hat. Von den aufgelagerten kleinen Kalkspatkrystallen wird weiterhin die Rede sein.

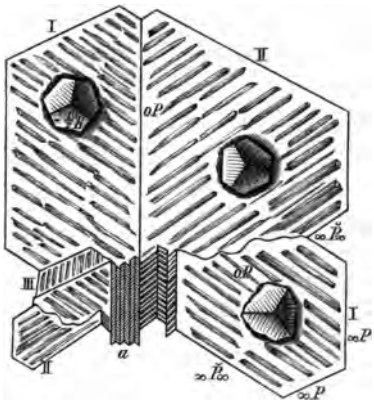


Fig. 226.

Der Krystall ist ein Drilling, jedoch mit ungleicher Ausdehnung der drei Individuen. An das Individuum I haben sich II und III angelagert, außerdem findet Durchkreuzung und Lamellenbildung statt. Die in der Zeichnung vertikal verlaufenden geradlinigen Zwillingsgrenzen entsprechen sämtlich einer, die Rolle der Zwillingsebene spielenden Prismenfläche der beiden Individuen I und II. Die daselbst zusammenstoßenden Furchen resp. Streifen verlaufen alle von rechts oben nach links unten und umgekehrt. Bei *a* wechseln beide Individuen in schmalen Lamellen mit einander ab. Auf III, welches nur links unten in einem breiteren Streifen in I eingeschoben ist, besitzen die Furchen (in der Figur) nahe senkrechte Richtung. An einigen Stellen treffen die benachbarten Individuen in unregelmäßig gekrümmten Linien zusammen; so rechts II und I, links I und III, sowie I und II. Dies rührt daher, dass sich die beiden Krystalle hier nicht in einer Ebene berühren können, welche für beide einer möglichen Krystallfläche entsprechen würde. Sie teilen sich deshalb daselbst gleichsam beliebig in den Raum.

Die Herrengrunder Aragonite sind manchmal wie überzuckert mit kleinen Kalkspatkryställchen; so auch die hier abgebildete Basisfläche. Drei solcher Kryställchen sind, wie sie bei der Betrachtung unter dem Mikroskop erscheinen, wiedergegeben; sie zeigen das stumpfe Rhomboeder $-\frac{1}{2}R$ nebst dem Protoprisma ∞R. Ihre Bildung ist höchst wahrscheinlich so zu erklären, dass der Aragonit zuerst von kohlensäurehaltigem Wasser angeätzt wurde (daher die Furchen auf $0P$), und dass sich dann der so gelöste kohlensaure

Kalk nach dem Verdunsten der Kohlensäure resp. des Wassers in Form von Kalkspat wieder ausschied. Oft findet auch eine Umwandlung in Kalkspat unter Erhaltung der äußeren Aragonitform statt. Die Säulen bestehen dann wohl ganz aus Kalkspat; sie bilden Pseudomorphosen von Kalkspat nach Aragonit. Den Herrengrunder Aragoniten ähnlich sind die sich durch Größe und Schönheit auszeichnenden Krystalle, welche mit Schwefel in Höhlungen des Mergels bei Girgenti und anderen Orten Siciliens gefunden werden.

Besondere Erwähnung verdienen noch die ringsum ausgebildeten in Gyps eingewachsenen Aragonitkrystalle von Molino in Aragonien, sowie die ganz ähnlichen von Bastennes (Département Landes). Sie sind kurze, scheinbar hexagonale sechsseitige Prismen und bestehen aus drei oder mehr, einander durchwachsenden Individuen. Die Basis ist zwar matt, allein auf den Säulenflächen bemerkt man deutliche Knickungen, welche auf die komplizierte Zusammensetzung der Krystalle hinweisen. Schleift man aus solchen Zwillingen eine Platte nach $0P$, so kann man daran im parallelen oder konvergenten polarisierten Lichte die Art der Verwachsung aufs genaueste verfolgen. Denn einmal sind die Auslöschungsrichtungen der mit einander verbundenen Individuen verschieden, so dass die einzelnen Teile bei der Drehung der Platte erst nach einander dunkel werden, und dann sieht man das optische Achsenbild (die optische Mittellinie steht auf der Basis senkrecht) in den verschiedenen Individuen in abweichender Stellung; die optischen Achsen liegen in der Achsenebene bc. Sehr hübsch tritt auch die Zwillingsbildung hervor, wenn man eine basische Platte (oder auch einen Herrengrunder Krystall mit glänzender $0P$) mit verdünnter Essigsäure (Essig) ätzt. Es zeigen sich dann bald unter dem Mikroskop auf $0P$ Ätzfiguren von rhombischer Symmetrie, welche durch ihre relativ verschiedene Lage auf den mit einander verwachsenen Individuen diese letzteren aufs bestimmteste unterscheiden lassen.

Als ein charakteristisches Vorkommen von Aragonit ist die sogen. Eisenblüte zu nennen, welche aus feinen, weißen Nadeln besteht, die zu zackigen und ästigen Formen verbunden sind. Solche Bildungen finden sich stets auf Eisenerzen, welche durch Zersetzung von Eisenspat ($FeCO_3$) entstanden sind, daher der Name. Sie sind ein Produkt der in den Erzen zirkulierenden Lösungen, ähnlich den Tropfsteinen. Die prächtige Eisenblüte von Eisenerz in Steiermark

und Hüttenberg in Kärnthen ist in allen größeren Sammlungen vertreten.

Der Karlsbader Sprudelstein, gleichfalls aus Aragonit bestehend, hat sich aus dem heißen Sprudel abgesetzt; er ist oft durch einen Eisengehalt rot, braun bis schwärzlich gefärbt und besteht aus konzentrischen Lagen oder Schalen mit dazu senkrechter Faserung hervorgebracht durch äußerst feine, parallel oder nahezu parallel gestellte Nadeln unseres Minerals.

Die Härte des Aragonits beträgt 3,5—4, ist also größer als diejenige des Kalkspats; auch das spezifische Gewicht (2,9—3) ist ein höheres. Eine deutliche Spaltbarkeit ist nicht vorhanden. Er zeigt starke doppelte Lichtbrechung (an klaren Stücken direkt wahrnehmbar); die Lage der optischen Achsen wurde schon angegeben. Der Aragonit ist farblos, doch oft auch gelblichweiß bis weingelb, rötlich bis ziegelrot, violett oder grünlich gefärbt, durchsichtig bis durchscheinend. Erhitzt man ihn in einer Glasröhre über der Weingeistlampe, so schwillt er etwas an und zerfällt plötzlich zu einem weißen Pulver. Wahrscheinlich geht er dabei ohne Veränderung seiner Substanz in Kalkspat über, welcher bei der betreffenden Temperatur noch keine Veränderung erfährt. Eine Umlagerung in Kalkspat findet auch statt, wenn man eine nach der Basis geschliffene Aragonitplatte bis zur beginnenden Trübung vorsichtig erhitzt. Die Platte zeigt dann an den durchsichtig gebliebenen Stellen im konvergenten polarisierten Lichte das Achsenbild eines optisch einachsigen Krystalles, wobei die optische Achse senkrecht zur Ebene der Platte steht. Der optisch zweiachsige Aragonit ist demnach in den einachsigen Kalkspat übergegangen.

Hinsichtlich der Bildung des Aragonits aus einer Lösung von kohlensaurem Kalk in kohlensäurehaltigem Wasser, welche ohne Zweifel in der Natur die gewöhnliche ist, hat man gefunden, dass eine solche namentlich bei höherer Temperatur stattfindet, während sich aus kalten Lösungen nur Kalkspat ausscheidet. Ist jedoch die Lösung sehr verdünnt, so können auch bei gewöhnlicher Temperatur Aragonitkrystalle entstehen.

Wird kohlensaurer Kalk in einem geschlossenen Gefäße, so dass die Kohlensäure nicht entweichen kann, geschmolzen, so erstarrt er zu körnigem Kalkspat oder Marmor.

Der Aragonit findet sich weniger häufig als der Kalkspat und erscheint nie in größerer Menge als Gebirgsmasse. Dennoch besitzt

er eine bedeutende Verbreitung. Seine Krystalle werden namentlich in Hohlräumen und auf Spalten vulkanischer Gesteine, wie im Basalt, gefunden, ferner auf Eisenerzlagerstätten und auf Erzgängen, in Höhlungen des Mergels, im Gyps. Einige der wichtigsten derartigen Fundstätten wurden schon oben erwähnt.

2. An den Aragonit schließen sich drei mit demselben isomorphe Mineralien an, der **Strontianit** (kohlensaurer Strontian $SrCO_3$), der Witherit (kohlensaurer Baryt $BaCO_3$) und das **Weifsbleierz** (kohlensaures Bleioxyd $PbCO_3$).

Der Strontianit findet sich in schönen farblosen und durchsichtigen Krystallen im Mergel der Kreideformation bei Hamm in Westfalen (Dasbeck, Drensteinfurt). Meist sind dieselben spießig durch Vorherrschen von spitzen Pyramiden und steilen Brachydomen. Seltener erscheinen sie tafelförmig nach $\infty\breve{P}\infty$, ähnlich den Aragoniten von Bilin, oder prismatisch mit ∞P und $\infty\breve{P}\infty$, an dem frei ausgebildeten Ende meist mit $\frac{1}{3}P$ und $\frac{2}{3}\breve{P}\infty$. Der vordere stumpfe Winkel des Protoprismas beträgt 117° 19′. Die Basis ist an diesen Krystallen sehr selten. Zu den Pyramiden mP treten in der Regel die Brachydomen $2m\breve{P}\infty$ mit fast gleicher Neigung zur Vertikalachse (so zu $\frac{1}{3}P$ das Brachydoma $\frac{2}{3}\breve{P}\infty$), wodurch bei gleicher Flächenentwicklung beider Formen eine scheinbare hexagonale Pyramide entsteht. Sämtliche Krystalle von Hamm (wie auch wohl diejenigen anderer Fundorte) sind Zwillinge nach dem beim Aragonit herrschenden Gesetze: »Zwillingsebene ∞P«. Die mit einander verwachsenen Individuen berühren sich in einer Prismenfläche; häufig sind sie noch ganz erfüllt mit Zwillingslamellen, welche als feine Streifen auf den Endflächen sichtbar werden.

Als andere Fundorte des Strontianits seien genannt Clausthal im Harz, Bräunsdorf bei Freiberg, Leogang in Salzburg. Von Strontian in Schottland, wo das Mineral zuerst aufgefunden wurde (daher sein Name), kommen derbe, strahlige Massen von grünlicher oder gelblicher Farbe. Sehr oft sind die Strontianitkrystalle büschelförmig gruppiert. Betupft man sie mit Salzsäure und hält sie in eine Weingeistflamme, so färbt sich letztere sogleich schön karminrot, ein bequemes Mittel, den Strontianit zu erkennen. Spezif. Gewicht = 3,7.

Die Krystalle des Witherits haben fast immer das Ansehen hexagonaler Pyramiden (ähnlich den Quarzkrystallen der Kombination $\pm R$), indem sie von der Pyramide P und dem gegen die

Vertikalachse fast gleichgeneigten Brachydoma $2\breve{P}\infty$ begrenzt werden. Zudem sind sie, wodurch sie sich äußerlich noch mehr der hexagonalen Symmetrie nähern, stets Drillinge nach ∞P mit gegenseitiger Durchkreuzung der mit einander verwachsenen Individuen. Wichtiger als der Witherit ist das Weißbleierz, auch Cerussit genannt. Dieses Mineral ist meist ein Verwitterungsprodukt von Bleiglanz, auf welchem seine Krystalle auch oft aufsitzen. Im allgemeinen herrscht daran das Brachypinakoid $\infty\breve{P}\infty$, wodurch die Krystalle gern tafelförmig erscheinen; dazu treten Brachydomen, wie $\frac{1}{2}\breve{P}\infty$, $\breve{P}\infty$, $2\breve{P}\infty$ und $4\breve{P}\infty$, das Protoprisma ∞P (mit einem vorderen Winkel von 117° 14'), die Grundpyramide P, die Basis $0P$ und andere Formen. Manche Krystalle sind sehr flächenreich. Oft sind dieselben nach der Achse a, zuweilen auch nach der Vertikalachse gestreckt. Die Pyramide P kann auch hier in Kombination mit $2\breve{P}\infty$ und damit im Gleichgewichte eine scheinbare hexagonale Pyramide bilden. Die meisten Weißbleierzkrystalle sind Zwillinge resp. Drillinge nach ∞P, und zwar von mannigfaltiger Ausbildung. Die verbundenen Individuen sind entweder blos an einander gewachsen oder sie durchkreuzen einander. Einen hübschen Zwilling ersterer Art zeigt Fig. 227. Derselbe stammt von dem bekannten Fundorte Grube Friedrichssegen bei Braubach (Nassau). An beiden Individuen herrscht das Brachypinakoid l; schmal sind die Flächen von ∞P (M), P (t) und $\frac{1}{2}\breve{P}\infty$ (s). Die Brachypinakoide l und l treffen unter einem Winkel von 117° 14' zusammen. Nicht selten beobachtet man auch das Zwillingsgesetz »Zwillingsebene eine Fläche des Brachyprismas $\infty\breve{P}3$«, ja es kommt vor, dass sich an die Zwillinge nach $\infty\breve{P}3$ noch Krystalle nach ∞P zwillingsartig ansetzen.

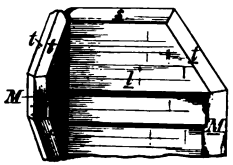


Fig. 227.

Die Cerussitkrystalle sind teils einzeln aufgewachsen, teils zu Gruppen und Drusen verbunden. Sie sind nach ∞P und $2\breve{P}\infty$ ziemlich deutlich spaltbar, zeigen muscheligen Bruch, sind farblos oder weiß, doch auch grau, gelb, braun oder schwarz gefärbt, durchsichtig bis durchscheinend, fett- bis diamantglänzend. Härte = 3—3,5, spezif. Gewicht = 6,5.

Der Cerussit ist ein häufiges Bleierz. Als Fundorte seien noch genannt: Ems, Johanngeorgenstadt, Clausthal, Tarnowitz in Oberschlesien, Mies in Böhmen, Nertschinsk (Transbaikalien).

3. **Schwefelsaures Kali** K_2SO_4. Dieses Salz findet sich zwar vereinzelt (bei Rocalmuto in Sicilien) als Mineral und wird dann Glaserit genannt, doch erhält man davon künstlich durch Verdunstenlassen einer Lösung leicht große und schöne Krystalle. Es ist in seinen Formen den Mineralien der Aragonitgruppe, namentlich dem Witherit, auffallend ähnlich; der Winkel des Prismas ∞P beträgt 120° 24′, kommt also demjenigen des hexagonalen Protoprismas (120°) sehr nahe*). Meist zeigen die Krystalle auch eine scheinbar hexagonale Kombination, wie sie Fig. 228 darstellt. Daselbst ist $o = P$, $q' = 2\breve{P}\infty$, $p = \infty P$, $b = \infty\breve{P}\infty$; man glaubt, die hexagonale

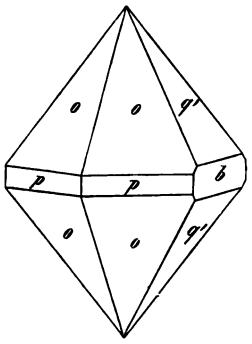


Fig. 228.

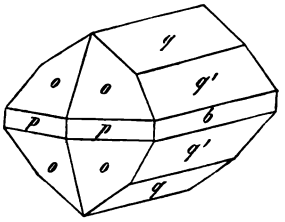


Fig. 229.

Kombination $P \cdot \infty P$ zu sehen. Manchmal sind die Krystalle nach der Brachydiagonale gestreckt, wie in Fig. 229, wo zu den genannten Formen noch $q = \breve{P}\infty$ hinzutritt.

Fast sämtliche Krystalle unseres Salzes sind Zwillinge (resp. Drillinge) nach dem Gesetze: »Zwillingsebene eine Fläche des Brachyprismas $\infty\breve{P}3$«, auch wohl nach dem Gesetze: »Zwillingsebene ∞P«. Die Flächen von $\infty\breve{P}3$ und von ∞P stehen zu je zwei fast genau auf einander senkrecht; dies würde vollkommen der Fall sein, wenn der Winkel des Protoprismas genau 120° betrüge. Infolge dieses Verhältnisses ergeben die beiden Zwillingsgesetze solche Stellungen der mit einander verwachsenen Individuen, welche fast vollkommen mit einander übereinstimmen. Denken wir uns an einen Krystall einen zweiten angelagert, welcher zu ihm nach einer

*) Während das Achsenverhältnis des Witherits $a : b : c = 0{,}5949 : 1 : 0{,}7413$ ist, haben wir beim schwefelsauren Kali das Verhältnis: 0,5727 : 1 : 0,7464.

Fläche von ∞P symmetrisch liegt, und ferner einen dritten, welcher sich zu dem ersten nach derjenigen Fläche von $\infty \breve{P}3$ in Zwillingsstellung befindet, die zu jener Fläche des Protoprismas fast senkrecht ist, so haben der zweite und der dritte Krystall sehr nahe parallele Stellung*).

Die Zwillingsbildung ist es nun, welche den Krystallen des schwefelsauren Kalis ein besonderes Interesse verleiht. Die Zwillinge zeigen meist eine Form wie Fig. 228, erscheinen also auf den ersten Blick als einfache Krystalle. Man kann jedoch ihre zusammengesetzte Natur auf verschiedene Weise erkennen. Lässt man z. B. die Pyramidenflächen spiegeln, am besten indem man sie das von einer etwas entfernt stehenden Lichtquelle ausgehende Licht reflektieren lässt, so bemerkt man oft, dass dieselben nicht aus einer Ebene bestehen, sondern dass sie nach einer von der Spitze aus vertikal verlaufenden Linie geknickt sind. Sie sind aus den Pyramidenflächen zweier nach $\infty \breve{P}3$ mit einander verbundenen Individuen zusammengesetzt, welche nicht genau in eine Ebene fallen. Betrüge der Winkel von ∞P genau 120°, so fielen beide Flächen in eine Ebene, würden also beim Spiegelnlassen die Zwillingsbildung nicht verraten. Verwachsen drei Individuen nach $\infty \breve{P}3$ so, dass sie sich gegenseitig ganz regelmäßig durchkreuzen, so treten nur die Pyramidenflächen und diejenigen von ∞P nach außen, während jene von $2\breve{P}\infty$ und $\infty \breve{P}\infty$ ganz nach innen fallen, also verdeckt werden.

Ein bequemes Mittel, die mannigfaltige Ausbildung der Zwillinge genauer zu verfolgen, giebt die Ätzung der Krystalle mit Wasser an die Hand. Man braucht nur einen Krystall anzufeuchten und darauf bald mit einem weichen Tuche oder Fließpapier abzutrocknen, so treten die Zwillingsgrenzen sehr deutlich hervor. Einen besonders klaren Einblick in die Zusammensetzung der Krystalle erhält man aber, wenn man sich, was sehr leicht durch Abreiben auf einer angefeuchteten matten Glasplatte geschehen kann, aus denselben Platten parallel zur Basis schleift, dieselben mit Wasser ätzt und unter dem Mikroskop betrachtet. Die Basis erscheint dann mit langgestreckten, streifenartigen Ätzeindrücken bedeckt, welche

*) Die beiden erwähnten Flächen von ∞P und $\infty \breve{P}3$ bilden mit einander einen Winkel von 89° 36′, der dritte Krystall würde nach einer Drehung um 48′ um die Vertikalachse mit dem zweiten genau parallel sein.

jedesmal parallel zur Brachydiagonale verlaufen, also auf den verschiedenen, mit einander verwachsenen Individuen verschieden gerichtet sind (ähnlich wie beim Aragonit Fig. 226). Auf diese Weise treten sowohl die einzelnen Individuen als auch die Zwillingsgrenzen, in welchen dieselben zusammenstoßen, aufs schönste hervor; man kann mit Leichtigkeit die feinsten Einzelheiten der Verbindung und gegenseitigen Durchkreuzung der Individuen verfolgen.

Die Krystalle des schwefelsauren Kalis nähern sich, wie bemerkt, ebenso wie diejenigen des Aragonits und der damit isomorphen Mineralien in ihren Winkelverhältnissen, oft auch in der ganzen Ausbildung, sehr dem hexagonalen System. Dazu kommt die so gewöhnliche Zwillingsbildung nach ∞P oder $\infty \breve{P}3$, welche gleichfalls, wenn sie zu komplizierteren Verbindungen (Drillingen etc.) führt, dazu beiträgt, dass der Habitus der Krystalle leicht ein solcher wird, wie er dem hexagonalen System entspricht. Krystalle, welche, wie die genannten, infolge ihrer Winkelverhältnisse und Zwillingsbildung sich äußerlich einem anderen (mehr symmetrischen) System nähern, dasselbe gewissermaßen nachahmen, bezeichnet man als mimetische. Solche Krystalle haben nun aber merkwürdigerweise sehr oft die Fähigkeit, unter gewissen Umständen, namentlich wenn sie bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzt werden, wirklich in das betreffende, höher symmetrische System überzugehen, indem ihre Winkel und ihre physikalischen Eigenschaften plötzlich solche werden, welche dem letzteren System entsprechen. Einen derartigen Übergang (aus dem rhombischen in das reguläre System) haben wir schon früher beim Boracit kennen gelernt; letzterer zeigt allerdings schon bei gewöhnlicher Temperatur Winkel, welche von den vom regulären System geforderten nicht erkennbar abweichen. Auch erwähnten wir schon, dass eine basische Platte von Aragonit, genügend stark erhitzt, im konvergenten polarisierten Lichte das Achsenbild einer optisch-einachsigen Substanz zeigt, also ohne Zweifel in den hexagonalen Kalkspat übergegangen ist. Eine basische Platte von schwefelsaurem Kali lässt nun, wie Mallard zuerst beobachtete, diesen Übergang besonders schön erkennen (sie muss zu dem Zwecke sehr dünn geschliffen sein, da sie sonst beim Erhitzen in viele Splitter zerspringt). Zunächst stellt sich, wenn die Platte erhitzt wird, zu den schon vorhandenen, im parallelen polarisierten Lichte zwischen gekreuzten Nicols scharf hervortretenden Zwillingsteilen eine außerordentliche Zahl von feinen Zwillings-

lamellen ein, ganz ähnlich, wie dies beim Erhitzen einer Boracitplatte geschieht. Dann, bei etwa 650°, wird die Platte plötzlich optisch einachsig, sie bleibt im parallelen polarisierten Lichte zwischen gekreuzten Nicols in jeder Stellung dunkel. Bei der Abkühlung tritt umgekehrt wieder das frühere optische Verhalten, Doppelbrechung in der Richtung der Vertikalachse und Auslöschung in gewissen Stellungen, hervor. Das schwefelsaure Kali ist also dimorph; seine Krystalle gehören bei gewöhnlicher Temperatur sowie bis etwa 650° dem rhombischen, darüber hinaus erhitzt hingegen dem hexagonalen System an.

4. **Markasit.** Dieses Mineral, welches wie der Schwefelkies aus Zweifach-Schwefeleisen FeS_2 besteht, kommt häufig in deutlichen, wenn auch meist nicht großen, graulich speisgelben Krystallen vor. Eine gewöhnliche Kombination zeigt Fig. 230, wo $p = \infty P$ (vorderer Winkel = 106° 5′), $q = \breve{P}\infty$ und $q' = \frac{1}{3}\breve{P}\infty$ ist; hierzu treten oft $0P$, $\bar{P}\infty$, auch P. Die Basis, sowie das Brachydoma $\frac{1}{3}\breve{P}\infty$ sind meist parallel ihrer Kombinationskante (resp. nach der Brachydiagonale) gestreift; häufig gehen beide allmählich in einander über. Sehr oft trifft man den Markasit in Zwillingen an, welche nach zwei Gesetzen gebildet sind, einem häufigeren »Zwil-

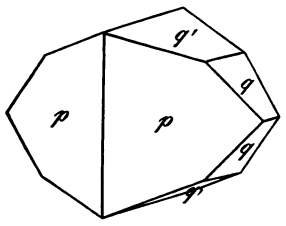


Fig. 230.

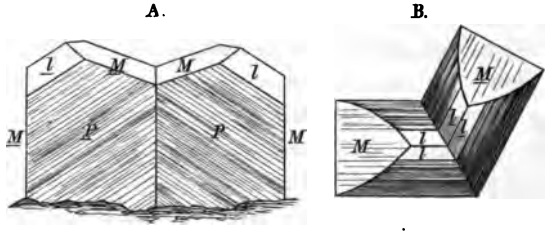


Fig. 231.

lingsebene ∞P« und einem etwas selteneren »Zwillingsebene $\bar{P}\infty$«. Einen Zwilling nach dem ersten Gesetze stellt Fig. 231 *A* dar. Daselbst ist $P = 0P$, $M = \infty P$, $l = \breve{P}\infty$; die Zwillingsebene steht senkrecht zur Ebene der Zeichnung. Oft wiederholt sich diese Zwillingsbildung, wobei alle Zwillingsebenen parallel gehen, also

das dritte Individuum dem ersten, das vierte dem zweiten u. s. w. parallel ist. Dann entstehen durch die auf- und absteigenden Prismenflächen hahnenkammähnliche Bildungen, welche man als Kammkies bezeichnet. Derselbe erscheint in aufgewachsenen, sich auf der Unterlage senkrecht erhebenden Platten. Die Zwillingsgrenze der mit einander verbundenen Individuen wird besonders durch die Streifung auf $0P$ und $\frac{1}{3}\breve{P}\infty$ markiert; doch kann sie auch ganz verwischt sein. Hahnenkämme entstehen übrigens auch ohne Zwillingsbildung durch Missbildung der Flächen ∞P und $0P$, indem dieselben sich krümmen, die Prismen aber mit ihren stumpfen Kanten annähernd parallel an einander wachsen und die scharfen Kanten zackig herausstellen. Die Streifung auf $0P$ bildet dann nicht selten bogenförmige Linien.

Außer der beschriebenen wiederholten Zwillingsbildung nach ∞P kommt beim Markasit auch häufig eine mehrfache Verwachsung nach demselben Gesetze mit geneigten Zwillingsebenen vor. Solche Verbindungen, wobei gewöhnlich vier Individuen zusammentreten, bezeichnet man als Speerkies (die Form ähnelt einer Speerspitze). Besonders schön finden sie sich bei Littmitz in Böhmen, woher auch die in Fig. 232 wiedergegebene Gruppe stammt. Dieselbe besteht aus drei zusammengehäuften Vierlingen, wovon sich zwei in nahezu paralleler Stellung befinden. Die stark gestreiften Flächen gehören $\frac{1}{3}\breve{P}\infty$ an; der scharfe Winkel dieser Form ist nach außen gekehrt. Die Bezeichnung des großen Vierlings giebt an, wie derselbe aus vier Individuen aufgebaut ist, von denen jedesmal zwei benachbarte nach einer Fläche von ∞P symmetrisch liegen. Unten wechseln auf der einen Seite die Individuen I und III, auf der anderen II und IV mit einander ab, so dass dort statt der mehrfachen Zwillingsbildung mit geneigten Zwillingsebenen wieder eine solche mit parallelen Zwillingsebenen herrscht.

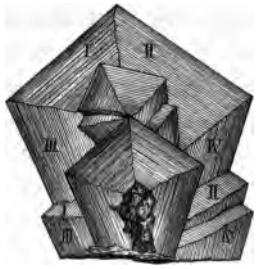


Fig. 232.

Einen Zwilling nach dem zweiten Gesetze (Zwillingsebene $\bar{P}\infty$) zeigt Fig. 231 B in der Stellung, dass die Ebene der Figur mit dem Brachypinakoid zusammenfällt, die Zwillingsebene also darauf senkrecht steht. Es kommt vor, dass man auf demselben Handstücke neben einander Zwillinge nach beiden Gesetzen findet, ja zuweilen

setzt sich an ein Individuum eines Zwillings nach dem einen Gesetze ein solches nach dem anderen an, es entsteht also ein Drilling mit zweierlei Art der Verwachsung!

Häufig findet sich der Markasit in kugeligen oder tropfsteinartigen Krystallgruppen, sowie in strahligen bis faserigen Massen (Strahlkies). Eine deutliche Spaltbarkeit fehlt ihm, seine Härte ist gleich der des Schwefelkieses, das spezifische Gewicht jedoch etwas geringer (4,6 — 4,8). Durch Anlaufen infolge oberflächlicher Verwitterung (Bildung von Eisenvitriol $FeSO_4$) wird er matt und grau. Manchmal verwittert er sehr leicht; ob er indes, wie man vielfach annimmt, der Verwitterung stärker unterliegt als der Schwefelkies, ist noch nicht erwiesen. In Pseudomorphosen kommt der Markasit nach Eisenglanz, Flussspat, Kalkspat und anderen Mineralien vor, häufig auch als Versteinerungsmittel organischer Reste. Er findet sich nicht so verbreitet, wie der Schwefelkies; hauptsächlich trifft man ihn auf Erzgängen, sowie im Mergel und Thon. Einige besonders bekannte Fundorte sind: Clausthal, Andreasberg, Freiberg, Schemnitz, Littmitz und Altsattel in Böhmen, Folkestone in England. Der Markasit von Böhmen zeigt oft eine regelmäßige Verwachsung mit Würfeln von Schwefelkies.

XXV.

Topas, Staurolith, Leucit, Kieselzinkerz, Bittersalz.

1. Der **Topas** bildet eines der ausgezeichnetsten Beispiele rhomischer Krystallisation. Seine meist aufgewachsenen Krystalle sind ı der Regel gut ausgebildet und erreichen zuweilen beträchtliche röße. Wenngleich die Kombinationen oft verhältnismäßig einfach nd, giebt es doch auch sehr flächenreiche Topase. Im Ganzen nd schon gegen 80 verschiedene Einzelformen bekannt. Der Habitus er Krystalle wird im wesentlichen durch folgende Flächen bestimmt: ɔP, $\infty\breve{P}2$, P, $0P$, $2\breve{P}\infty$. Der stumpfe Winkel des Protoprismas eträgt 124° 17′, die Flächen von $2\breve{P}\infty$ stoßen über der Achse c nter einem Winkel von 92° 42′ zusammen. Aus diesen Werten :giebt sich das Achsenverhältnis $a : b : c = 0{,}5285 : 1 : 0{,}4768$. Die rystalle sind immer säulenförmig in der Richıng der Vertikalachse; senkrecht zu dieser Richıng, nach der Basis, ist eine sehr vollkommene paltbarkeit vorhanden, welche sich oft schon urch Sprünge verrät.

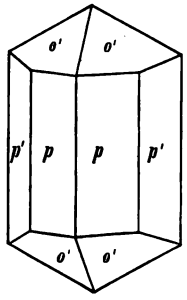


Fig. 233.

Als drei, wenn auch durch mannigfache bergänge mit einander verbundene Grundtypen ınn man folgende Kombinationen unterscheiden: $\infty P \cdot \infty\breve{P}2 \cdot P$; 2) $\infty\breve{P}2 \cdot 2\breve{P}\infty \cdot \infty P \cdot P$; $\infty P \cdot \infty\breve{P}2 \cdot 0P \cdot P \cdot 2\breve{P}\infty$.

Die erste Kombination stellt Fig. 233 dar. aselbst ist $p = \infty P$, $p' = \infty\breve{P}2$, $o' = P$. Die Flächen p' schneien sich seitlich unter 93° 11′. Beide Prismen sind fein vertikal :streift. Diese Kombination bildet die gewöhnlichste Form der

honiggelben brasilianischen Topase, welche beim Erhitzen eine blassrote Farbe annehmen brasilianische Rubine.

Die zweite Kombination erscheint häufig an den mit Quarz Rauchtopas zusammen vorkommenden Krystallen von Aduntschilon in Sibirien. Dieselben sind farblos oder gelblich bis blassgrün gefärbt, oft an beiden Enden ausgebildet und finden sich in Drusenräumen des Granits. Einen solchen Krystall, woran jedoch das Protoprisma fehlt, giebt Fig. 234 in natürlicher Größe wieder. Derselbe ist so gestellt, dass er die Makrodiagonale und demnach das Brachydoma $q = 2\breve{P}\infty$ nach vorn wendet. Die an verschiedenen Orten Sibiriens außer dem genannten bei Miask, Alabaschka, am Flusse Urulga vorkommenden Topase zeigen übrigens oft sehr flächenreiche Kombinationen. Sie erreichen beträchtliche Größe; man fand daselbst bis fußgroße Krystalle.

Fig. 234.

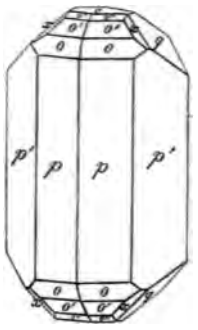


Fig. 235.

Zum Studium des dritten, oben erwähnten Formentypus liefern die kleineren, hell weingelben Topase vom Schneckenstein in Sachsen das beste, leicht zu beschaffende Material. Sie finden sich daselbst mit Quarzkrystallen in zahllosen Hohlräumen des sogen. Topasfelses, welcher eine ruinenähnlich aus dem Glimmerschiefer emporragende Felsmasse bildet. Die Basis $0P$ ist stets rauh, sie erscheint wie angeätzt. Fig. 235 zeigt die gewöhnlich an den Topasen dieses Fundortes auftretenden Flächen. Außer den Prismen ∞P (p) und $\infty\breve{P}2(p')$, der Basis (c), der Pyramide $P(o')$ und dem Brachydoma $2\breve{P}\infty(q)$ beobachtet man, wenn auch meist untergeordnet, eine zweite Proto-

pyramide $o'' = \frac{2}{3}P$, seltener noch eine dritte $o = 2P$. Die über einander liegenden Flächen p, o, o', o'' und c bilden eine Zone, d. h. ihre Kombinationskanten sind parallel. Die Kanten $o':q$ werden abgestumpft durch die Flächen x, welche einer Brachypyramide $\frac{1}{3}\breve{P}2$ angehören. Unterhalb q, also steiler gegen die Vertikalachse geneigt, sieht man oft noch ein kleines Dreieck, die Fläche des Brachydomas $4\breve{P}\infty$ (in der Figur nicht gezeichnet).

Außer in Sibirien findet man farblose und wasserhelle Topase z. B. im Mournegebirge auf Island. Hierhin gehören auch die als Wassertropfen bezeichneten Topasgeschiebe aus dem mittleren Gebiete des Rio Belmonte in Brasilien, deren ursprüngliche Lagerstätte nicht bekannt ist. Sie sind von einer Klarheit und Politurfähigkeit, wie sie der Bergkrystall nicht erreicht, und wurden deshalb zuweilen als Diamanten ausgegeben. Solche Wassertropfen werden auch zu Brillengläsern verschliffen.

Anderseits verlieren die Krystalle gewisser Fundorte Klarheit und Schönheit der Farbe, werden trübe und zeigen eine schmutzigweiße Färbung. Sie gehen schließlich in derbe Massen über, an welchen sich nur noch Andeutungen von Krystallflächen finden (Finbo und Broddbo bei Fahlun).

Der Topas gehört wegen seiner Härte (= 8) in die Reihe der Edelsteine. Das spezifische Gewicht beträgt 3,5—3,7. Die Ebene der optischen Achsen liegt parallel dem Brachypinakoid, die optische Mittellinie entspricht der Vertikalachse. Spaltblättchen nach der Basis zeigen daher im konvergenten polarisierten Lichte sehr schön das Achsenbild. Die chemische Zusammensetzung des Topases kann durch die Formel $5\,Al_2SiO_5 + Al_2SiFl_{10}$ ausgedrückt werden. Die zweite darin enthaltene Verbindung unterscheidet sich von der ersten dadurch, dass fünf Sauerstoffatome durch zehn einwertige Atome Fluor ersetzt sind. Von Säuren wird der Topas fast gar nicht angegriffen, geschmolzenes Kaliumhydroxyd (Ätzkali) greift ihn jedoch an. Über die so erhaltenen Ätzfiguren vergl. S. 32 und Fig. 18.

Die, wie bemerkt, meist aufgewachsenen Krystalle unseres Minerals finden sich hauptsächlich auf Spalten der Gesteine Granit, Gneiß und Granulit. Einige der wichtigsten Fundorte wurden schon genannt. Wir fügen nur noch hinzu das Vorkommen auf den Zinnerzlagerstätten im Erzgebirge (Altenberg, Zinnwald) und in Cornwall.

Die durchsichtigen farblosen und schön gefärbten Topase werden

zu Schmucksteinen verschliffen. Den lichtgelben legt man bei der Fassung wohl ein Goldblättchen unter.

2. **Staurolith.** Die gewöhnlich im Glimmer- oder Thonschiefer eingewachsenen rot- bis schwarzbraunen Krystalle dieses Minerals zeigen einfache Kombinationen. Sie sind kurz- oder langsäulenförmig nach der Vertikalachse, wobei die Formen ∞P und $\infty \breve{P} \infty$ herrschen: zu diesen tritt die Basis, sowie häufig das Makrodoma $\bar{P}\infty$. In Fig. 236 A ist $m = \infty P$, $o = \infty \breve{P} \infty$, $p = 0P$ und $r = \bar{P}\infty$. Ein besonderes Interesse gewinnt der Staurolith durch die sehr häufige, nach verschiedenen Gesetzen stattfindende Zwillingsbildung. Fig. 236 B zeigt einen Zwilling von Fannin Co., Georgia, in fast natürlicher Größe, welcher dem Gesetze folgt: »Zwillingsebene eine Fläche des Brachydomas $\frac{3}{2}\breve{P}\infty$«. Beide Individuen sind

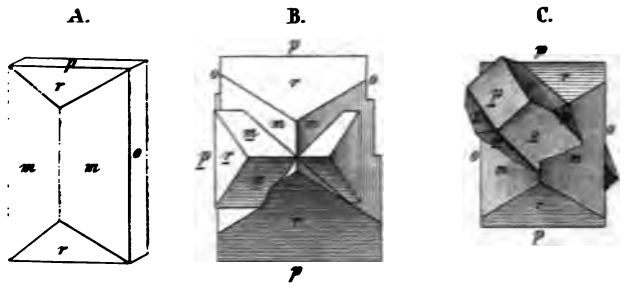


Fig. 236.

in der Stellung gezeichnet, dass die Flächen p und o senkrecht zur Ebene des Papiers stehen. Sie durchwachsen einander, und die Vertikalachsen beider kreuzen sich fast rechtwinklig. Wären beide Krystalle gleich groß und von genau derselben Ausbildung, so würde der Zwilling ein ganz regelmäßiges Kreuz darstellen. Auf diese kreuzförmige Verwachsung deutet auch der Name Staurolith (Kreuzstein) hin. Stellenweise wurde er als »Taufstein« bezeichnet, weil man ihn den Kindern nach der Taufe umhing.

Der in Fig. 236 C wiedergegebene, gleichfalls von Fannin Co. stammende Zwilling folgt einem anderen Gesetze, indem die beiden Krystalle nach einer Fläche der Brachypyramide $\frac{3}{2}\breve{P}\frac{3}{2}$ symmetrisch liegen und so einander durchwachsen. Das eine Individuum ist wieder in derselben Stellung gezeichnet wie das größere bei Zwilling B. Hier schneiden sich die beiden Vertikalachsen fast unter 60°.

Dasselbe gilt natürlich auch von den, der Vertikalachse parallelen Kanten $m:o$ beider Individuen. Denkt man sich den Zwilling ganz regelmäßig gebildet, so schneiden sich diese Kanten in Wirklichkeit. In der Ebene, welche man durch dieselben legen kann, lässt sich nach demselben Zwillingsgesetz noch ein drittes Individuum einfügen, so dass ein sechsstrahliger Stern entsteht, dessen Strahlen sich unter fast 60° schneiden. Solche Drillinge kommen nun in der That vor. Fig. 237 ist die naturgetreue Abbildung eines derartigen Staurolithsterns, welcher in einem Glimmerschiefer von Slatousk (Ural) liegt. Die dem Beschauer zugewandten Kanten $m:o$ der drei Individuen liegen in einer Ebene (der Ebene der Zeichnung) und schneiden sich unter fast 60°.

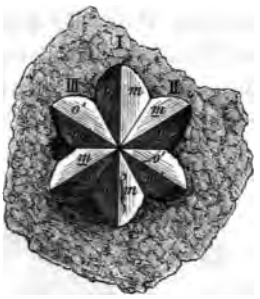


Fig. 237.

Die Krystalle sind spaltbar nach dem Brachypinakoid, ihre Härte beträgt 7—7,5, ihr spezifisches Gewicht schwankt zwischen 3,34 und 3,77. Sie besitzen Glasglanz und sind durchscheinend bis undurchsichtig. Die optischen Achsen liegen in der Achsenebene $b\ c$; die optische Mittellinie geht der Vertikalachse parallel. Der Staurolith kann im wesentlichen als aus Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxydul und Magnesia zusammengesetzt betrachtet werden, doch zeigen die verschiedenen Vorkommnisse hinsichtlich der Mengenverhältnisse dieser Bestandteile große Abweichungen. Die mikroskopische Untersuchung ergab als Ursache dieser Verschiedenheit die Einlagerung von Quarzkörnchen, auch von anderen Mineralien. Nur die Krystalle von Faido im Tessin (Schweiz) sind frei von diesen Beimengungen; ihre Zusammensetzung entspricht der Formel $(Fe, Mg)Al_4Si_2O_{11}$.

Außer den schon genannten Fundorten führen wir an: Airolo am St. Gotthard (hier wie bei Faido liegt der Staurolith in einem weißen Glimmerschiefer, welcher als Paragonitschiefer bezeichnet wird), Goldenstein und Zöptau in Mähren, Radegund in Steiermark, Quimper im Dép. Finistère (Bretagne), Santiago di Compostella in Spanien.

3. **Leucit.** Dieses Mineral, welches in mehrfacher Hinsicht als eines der interessantesten gelten muss, hat gleichsam nach langem Umherirren im rhombischen System einen Platz gefunden. Früher (bis zum J. 1872) hielt man den Leucit, von welchem man nur die

stets rauhflächigen, in Lava (des Vesuv, der Umgegend von Rom, von Rieden bei Andernach) eingewachsenen Krystalle kannte, allgemein für regulär, indem dieselben eine Form zeigen, welche genau mit dem Ikositetraeder 202 übereinzustimmen scheint. Infolge dessen bezeichnete man diese Form geradezu als Leucitoeder.

Einen solchen Krystall stellt Fig. 238 in natürlicher Größe dar. Es fiel indes auf, dass die Substanz des Leucits nicht, wie man von einem regulären Körper erwarten musste, einfachbrechend sei, sondern dass die Krystalle sich bei der Untersuchung von Dünnschliffen im polarisierten Lichte als aus doppeltbrechenden Lamellen zusammengesetzt erwiesen. Man stellte mehrere Hypothesen zur Erklärung dieses merkwürdigen Verhaltens auf. Da entdeckte

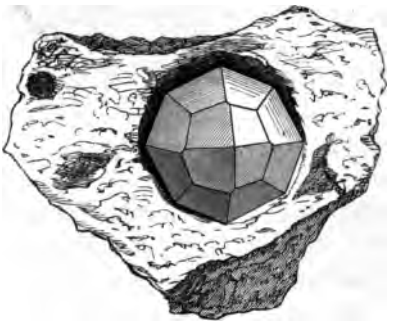


Fig. 238.

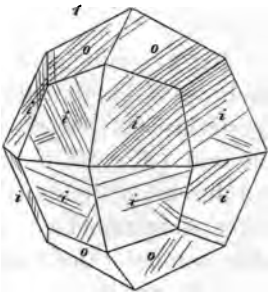


Fig. 239.

G. vom Rath (1872) bei der Untersuchung glattflächiger aufgewachsener Leucite, welche sich in Auswürflingen des Vesuv fanden, eine Streifung der Flächen, welche auf eine Zwillingsbildung (in Form feiner eingeschalteter Lamellen) nach gewissen Flächen des Rhombendodekaeders ∞O hinwies (Fig. 239). Eine solche Zwillingsbildung kann aber bei einem holoedrisch regulären Krystalle nicht stattfinden, weil für denselben die Dodekaederflächen Symmetrieebenen sind. Genaue Messungen der Kantenwinkel ergaben nun das überraschende Resultat, dass die Form der Krystalle in Wirklichkeit nicht mit dem Ikositetraeder 202 identisch ist, indem die verschiedenen Kanten nicht die von demselben geforderten Werte von 131° 49′ (für die längeren Kanten) und 146° 27′ (für die kürzeren Kanten) lieferten, sondern bis um 2° davon abweichen. Aus seinen Messungen schloss vom Rath, dass

die Leucitform einer quadratischen Kombination entspreche, wobei acht Flächen des scheinbaren Ikositetraeders (in Fig. 239 die mit *o* bezeichneten) als quadratische Protopyramide *P*, die übrigen sechzehn (in Fig. 239 die mit *i* bezeichneten) als diejenigen einer achtseitigen Pyramide $\frac{1}{4}P2$ aufzufassen sind. Das Achsenverhältnis $c : a$ ist dann $= 0{,}5264 : 1$. Dass in der That die Flächen der gewöhnlichen Leucitform nicht alle gleicher Art sind, sondern verschiedenen Formen angehören, geht auch aus der interessanten Beobachtung hervor, dass beim Ätzen der glattflächigen Krystalle mit verdünnter Flusssäure gewisse Flächen rascher, andere langsamer angegriffen werden, und zwar entsprechen erstere der achtseitigen, letztere der Protopyramide.

Die Flächen des scheinbaren Rhombendodekaeders, welche zuweilen sehr untergeordnet an den glattflächigen Leucitkrystallen auftreten, zerfallen bei der vom Rath'schen Aufstellung in diejenigen des Protoprismas ∞P und in die einer Deuteropyramide $2P\infty$. Nach vom Rath findet nun nur nach den Flächen der letzteren Zwillingsbildung statt; nach denjenigen des Protoprismas ist eine solche nicht möglich, weil dieselben im quadratischen System die Bedeutung von Symmetrieebenen haben. Durch die Ätzung mit Flusssäure treten die Zwillingslamellen auf den Krystallflächen außerordentlich scharf, häufig in ungeheurer Zahl und von äußerster Feinheit hervor.

Später (1877) untersuchte E. Mallard das optische Verhalten des Leucits und kam zu dem Schlusse, derselbe sei nicht quadratisch, sondern gehöre dem monoklinen System an. Allein diese Ansicht fand Widerspruch. Zuletzt (1885) unterzog C. Klein den Leucit einer eingehenden optischen Prüfung und fand dabei zwei Thatsachen, welche der Annahme des quadratischen Systems widersprechen. Stellt man nämlich einen Schliff senkrecht zu der als Hauptachse angenommenen Richtung her, so bleibt derselbe nicht, wie es bei einem quadratischen Krystall der Fall sein soll, zwischen gekreuzten Nicols im parallelen polarisierten Lichte in jeder Stellung dunkel, sondern wird bei der Drehung abwechselnd heller und dunkler. Ferner treten in einem solchen Schliffe im polarisierten Lichte Streifen hervor, welche ausser den schon erwähnten auch auf solche Zwillingslamellen hinweisen, die nach den Flächen des Protoprismas eingelagert sind. Eine solche Zwillingsbildung ist nun, wie bemerkt, im quadratischen System nicht möglich, wohl aber im rhom-

bischen, und Klein rechnet den Leucit denn auch zu den rhombisch krystallisierenden Mineralien, allerdings mit großer Annäherung an das quadratische System. Die gewöhnliche Form, das scheinbare Ikositetraeder $2O2$, ist dann als eine Kombination von P, $4\bar{P}2$ und $4\breve{P}2$ aufzufassen; die Zwillingsbildung findet statt nach $2\bar{P}\infty$, $2\breve{P}\infty$ und ∞P, d. h. nach allen Flächen des scheinbaren Rhombendodekaeders. Der genannte Forscher fand aber auch, dass der Leucit nur bei gewöhnlicher, resp. nicht zu hoher Temperatur als rhombisch zu betrachten ist, denn wenn man eine Leucitplatte, in welcher Richtung sie auch dem Krystall entnommen sein mag, erhitzt und dabei zwischen gekreuzten Nicols im parallelen polarisierten Lichte betrachtet, so zeigt sie sich bei einer bestimmten Temperatur und darüber hinaus einfachbrechend; der Leucit verhält sich also in höherer Temperatur wie ein regulärer Krystall. Bei der Abkühlung tritt wieder doppelte Lichtbrechung ein. Ja, man beobachtete, dass die auf der Krystalloberfläche sichtbaren Zwillingslamellen beim Erhitzen verschwinden und erst bei der Abkühlung wieder, häufig in anderer Anzahl und Verteilung, hervortreten, was mit dem Übergange ins reguläre und zurück ins rhombische System übereinstimmt.

Es ist nun höchst wahrscheinlich, dass der Leucit, welcher sich bei hoher Temperatur in der geschmolzenen Lava oder sonstwo in Krystallen ausschied, zunächst regulär krystallisierte, dann aber bei der Abkühlung, wobei sich seine Krystalle ungleichmäßig zusammenzogen, ins rhombische System überging, wodurch zugleich die Zwillingsbildung nach den scheinbaren Flächen des Rhombendodekaeders (in Wirklichkeit nach $2\bar{P}\infty$, $2\breve{P}\infty$ und ∞P) möglich wurde.

In neuester Zeit hat man an einzelnen Leucitkrystallen untergeordnet noch die Flächen des scheinbaren Würfels beobachtet, welche nach vorstehender Deutung als diejenigen der drei Pinakoide aufzufassen sind. Sonstige Formen kommen nicht vor; stets ist das scheinbare Ikositetraeder $2O2$ bei weitem vorherrschend.

Die Krystalle des Leucits gehören zu den mimetischen, indem sie vermöge ihrer Winkelverhältnisse und der vielfachen Zwillingsbildung das reguläre System nachahmen. Der Leucit erinnert in mehrfacher Hinsicht an den Boracit, welcher gleichfalls bei gewöhnlicher Temperatur seinem optischen Verhalten und seiner Zwillingsbildung gemäß als rhombisch zu betrachten ist, während seine

Krystalle ebenso wie diejenigen des Leucits bei hoher Temperatur in solche des regulären Systems übergehen. Wie die Substanz des Boracits ist auch diejenige des Leucits dimorph, nämlich rhombisch bei niederer und regulär bei hoher Temperatur.

Der Leucit zeigt keine deutliche Spaltbarkeit, er besitzt muscheligen Bruch. Seine Härte ist 5,5—6, sein spezifisches Gewicht 2,5. Er ist farblos, weiß, gelblich, dabei durchsichtig bis durchscheinend (aufgewachsene Krystalle), oder graulichweiß bis grau und nur kantendurchscheinend (eingewachsene, rauhflächige Krystalle). Die chemische Zusammensetzung entspricht der Formel $K_2Al_2(SiO_3)_4$, jedoch enthalten viele Leucite neben Kalium Natrium. Von Salzsäure wird der Leucit unter Abscheidung von pulveriger Kieselsäure vollständig zersetzt.

Außer den erwähnten ein- oder aufgewachsenen kommen auch lose Krystalle von Leucit vor. Bei Eruptionen des Vesuv fallen öfters solche Krystalle mit der Asche nieder. In mikroskopisch kleinen Individuen erscheint der Leucit als Gemengteil von Gesteinen, namentlich von vielen Basalten. In den Gesteinsschliffen zeigen diese Leucite, ihrer Krystallform entsprechend, gewöhnlich die Gestalt mehr oder weniger regelmäßiger Achtecke. Sie zeichnen sich durch die dem Leucit überhaupt eigentümliche Neigung aus, fremde mikroskopische Körperchen, z. B. Augitstäbchen, Magneteisen-, Glas- und Schlackenkörnchen, einzuschließen, was sehr oft in der Weise geschieht, dass diese Einschlüsse dem Leucitumrisse parallel gelagert sind.

4. Das **Kieselzinkerz** zeichnet sich durch eine ausgeprägte Hemimorphie (vgl. S. 219) nach der Vertikalachse aus, weshalb es auch Hemimorphit genannt wird. Häufige Flächen sind die drei Pinakoide, wovon namentlich das Brachypinakoid stark ausgedehnt erscheint und nach der Vertikalachse gestreift ist, das Protoprisma, mehrere Makro- und Brachydomen, sowie die Brachypyramide $2\breve{P}2$. Während nun die Basis und die Domenflächen an dem einen Ende der Krystalle auftreten, wird das andere oft nur von den Flächen der Brachypyramide $2\breve{P}2$ begrenzt. Eine solche Kombination stellt Fig. 240 dar. Daselbst ist $a = \infty\bar{P}\infty$, $b = \infty\breve{P}\infty$, $p = \infty P$,

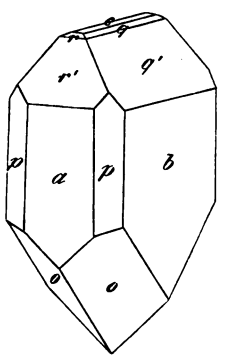


Fig. 240.

$r = \bar{P}\infty$, $r' = 3\bar{P}\infty$, $q = \breve{P}\infty$, $q' = 3\breve{P}\infty$, $c = 0P$, $o = 2\breve{P}2$. Die Krystalle sind stets aufgewachsen, und zwar meist mit dem Ende, welches die Figur unten zeigt. Infolge dessen ist es oft nicht möglich, die Hemimorphie zu erkennen. Sehr deutlich tritt dieselbe an den Ätzfiguren des Kieselzinkerzes hervor. Die auf dem Brachypinakoid nach kurzer Behandlung mit verdünnter Salzsäure zu beobachtenden Eindrücke sind nämlich, ebenso wie die ganzen Krystalle, nach oben und unten verschieden geformt.

Infolge der Hemimorphie nach der Vertikalachse hat die zu letzterer senkrechte Basis ihre Bedeutung als Symmetrieebene verloren. Sie kann deshalb die Rolle einer Zwillingsebene spielen, und man hat denn auch Zwillinge von Kieselzinkerz beobachtet, deren beide Individuen bei parallelen Achsen mit ihren unteren Enden (Fig. 240) in der Fläche $0P$ an einander gewachsen sind. Hierdurch wird die hemimorphe Ausbildung des einzelnen Krystalles gleichsam wieder aufgehoben.

Die Krystalle sind meist klein, zu Drusen oder fächerförmigen und traubigen Gruppen vereinigt, nach dem Protoprisma vollkommen spaltbar. Die Härte beträgt 5, das spezifische Gewicht 3,4. Sie sind farblos, weiß, gelblich bis braun, wasserhell bis durchscheinend, glasglänzend. Wie die ebenfalls hemimorphen Krystalle des Turmalins (S. 223) sind sie polar-thermoelektrisch, und zwar wird bei der Erwärmung das obere Ende positiv elektrisch. Die Ebene der optischen Achsen liegt parallel dem Makropinakoid, die optische Mittellinie steht senkrecht zur Basis. Die chemische Zusammensetzung wird durch die Formel $H_2Zn_2SiO_5$ ausgedrückt. In Säuren ist das Mineral unter Abscheidung von gallertartiger Kieselsäure löslich.

Das Kieselzinkerz findet sich meist mit Zinkspat ($ZnCO_3$) auf Spalten im Kalkgebirge, so bei Altenberg bei Aachen, Iserlohn, Tarnowitz in Oberschlesien, Raibel und Bleiberg in Kärnthen, Santander in Spanien, Matlock in Derbyshire.

5. **Bittersalz** (schwefelsaure Magnesia, $MgSO_4 + 7H_2O$). Wie im quadratischen, so giebt es auch im rhombischen System eine sphenoidische Hemiedrie — in diesem System die einzig mögliche — bei welcher diejenigen Flächen ausfallen, welche in den abwechselnden, von den drei Hauptschnitten gebildeten Räumen liegen. Dabei liefern die Pyramiden neue Formen, indem sie in je zwei Sphenoide zerfallen, welche sich jedoch nicht nur, wie es bei denjenigen des

quadratischen Systems der Fall ist, durch ihre Stellung unterscheiden, sondern zugleich enantiomorph sind. Sie werden von vier ungleichseitigen Dreiecken umschlossen. Die Prismen, Domen und Pinakoide des rhombischen Systems erleiden unter dem Einfluss der sphenoidischen Hemiedrie keine Veränderung.

Fig. 241.

Als ein Beispiel für diese Hemiedrie führen wir das Bittersalz an, welches man aus wässriger Lösung leicht in größeren Krystallen erhalten kann. Fig. 241 stellt einen solchen dar, welcher die Flächen $p = \infty P$ (mit dem vorderen Winkel von 90° 38′, also einem quadratischen Prisma sehr nahestehend) und $o = +\frac{P}{2}$ zeigt. Manchmal treten noch die Flächen des negativen Sphenoids $-\frac{P}{2}$ hinzu, so dass die Krystalle einer quadratischen Kombination von Prisma und Pyramide ähnlich sehen.

Sie sind farblos und durchsichtig, nach $\infty\breve{P}\infty$ vollkommen spaltbar. Die Ebene der optischen Achsen entspricht der Basis, die optische Mittellinie fällt mit der Makrodiagonale zusammen.

Isomorph mit Bittersalz ist der Zinkvitriol (schwefelsaures Zinkoxyd, $ZnSO_4 + 7H_2O$).

XXVI.

Monoklines (monosymmetrisches) Krystallsystem. Gyps. Verhalten monokliner Krystalle im polarisierten Lichte.

Das Achsenkreuz eines in diesem System krystallisierenden Körpers besteht aus drei ungleich langen und ungleichwertigen Achsen a, b und c, von welchen b auf a und c senkrecht steht, während sich a und c schiefwinklig schneiden. Die Achse a ist also gegen c geneigt, daher die Bezeichnung monoklin (κλίνω, neige). Den spitzen Winkel, welchen a und c einschließen, bezeichnet man mit β — derselbe hat bei jedem hierhin gehörigen Körper einen besonderen Wert — und stellt die Krystalle so auf, dass c vertikal steht (Vertikalachse), während b horizontal von rechts nach links verläuft und a dem Beschauer zugekehrt ist, wobei der Winkel β vorn unten (sowie hinten oben) liegt (Fig. 242). Weil die Achse b gleich der horizontal verlaufenden Diagonale der schiefen, vom Protoprisma begrenzten Basis (parallel zu den Achsen a und b) ist und auf c senkrecht steht, heißt sie auch Orthodiagonale (ὀρθός, gerade, rechtwinklig), während die Achse a, welche der anderen Diagonale entspricht, ihrer zu c geneigten Lage wegen als Klinodiagonale bezeichnet wird.

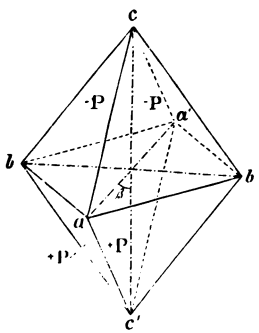


Fig. 242.

Eine Folge der Neigung von a ist im Vergleich mit dem rhombischen System die weitere Unregelmäßigkeit, dass die acht von den drei Achsenebenen gebildeten Räume nicht mehr sämtlich,

sondern nur noch zu je vier gleicher Art sind, und zwar einerseits die Räume, welche vorn oben und hinten unten, anderseits diejenigen, welche vorn unten und hinten oben liegen.

Von den drei Hauptschnitten (Achsenebenen), dem durch a und b gehenden basischen, dem durch b und c gehenden orthodiagonalen und dem durch a und c gehenden klinodiagonalen ist nur der letztere eine, und zwar die einzige Symmetrieebene; deshalb nennt man das monokline System auch das monosymmetrische. Auf der Symmetrieebene steht die Orthodiagonale senkrecht und wird deshalb auch Symmetrieachse genannt. Die rechts und links vom Achsenmittelpunkt um dieselbe gruppierten Flächen sind zu einander symmetrisch.

Es giebt im monoklinen System nur offene Formen, welche entweder aus zwei oder nur aus einem Paar paralleler Flächen bestehen. Die ersteren sind, da ihre vier Kanten sämtlich parallel laufen, eigentlich ohne Ausnahme Prismen, jedoch teilt man sie ein in Hemipyramiden, vertikale Prismen und geneigte Prismen oder Klinodomen. Die aus nur zwei Flächen bestehenden Formen zerfallen in Hemidomen, welche zu je zwei ein horizontales Prisma oder Orthodoma bilden, und in die drei Endflächen: die Basis, das Orthopinakoid und das Klinopinakoid.

Wegen der erwähnten Ungleichheit der von den Achsenebenen gebildeten Räume können von acht, die drei Achsen je in gleichem Abstande vom Achsenmittelpunkt schneidenden Flächen nur je vier gleiche krystallographische Lage besitzen. Eine vollständige monokline Pyramide (Fig. 242) zerfällt deshalb in zwei gänzlich von einander unabhängige Formen, von welchen jede vier Flächen besitzt und für sich allein ein Prisma bildet. Solche offene Formen nennt man deshalb Hemipyramiden; sie werden als positive und negative unterschieden, je nachdem ihre Flächen in denjenigen Räumen liegen, wo sich der spitze Winkel β befindet, oder in den anderen, wo die Achsen a und c einen stumpfen Winkel $(180^\circ - \beta)$ einschließen (s. in Fig. 242 $+P$ und $-P$). Erst zwei solche Formen, eine positive und eine negative Hemipyramide, können zusammen eine sogen. monokline Pyramide bilden, die also in Wirklichkeit gar nicht als einfache Form existiert.

Mit Ausnahme der durch die Symmetrieverhältnisse bestimmten Lage der Achse b (senkrecht zur Symmetrieebene) ist nun die Wahl der krystallographischen Achsen eine willkürliche; nur müssen a

und c innerhalb der Symmetrieebene liegen. Man geht bei jeder im monoklinen System krystallisierenden Substanz von zwei sich ergänzenden Hemipyramiden als Grundform aus, indem man das Achsenkreuz so legt, dass alle acht Flächen die einzelnen Achsen jedesmal in derselben einfachen Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneiden. Dann erhält die betreffende positive Hemipyramide das Symbol $a : b : c'$ oder $-P$, die negative das Symbol $a : b : c$ oder $+P$ Fig. 242.

Einen Krystall eines monoklin krystallisierenden Minerals, des Gypses, stellt Fig. 243 dar. Das Achsenverhältnis desselben ist $a : b : c = 0{,}6891 : 1 : 0{,}4156$, der Winkel $\beta = 81° 5'$. Folglich weicht die Achse a von der zu c senkrechten Richtung um $8° 55'$ ab. Die mit n bezeichneten Flächen gehören der positiven Hemipyramide $+P$, die Flächen o der negativen Hemipyramide $-P$ an. Die Polkante von $+P$ ist gegen die Vertikalachse um $65° 36'$ geneigt, während dieser Winkel für die Polkante von $-P$ $52° 29'$ misst. Diese Verschiedenheit ist durch die Neigung der Achse a bedingt.

Fig. 243.

Eine andere beim Gyps sehr häufige Kombination, Fig. 244, unterscheidet sich von der vorigen nur durch das Fehlen der positiven Hemipyramide. Man sieht daraus, dass beide Hemipyramiden hinsichtlich ihres Auftretens ganz unabhängig von einander sind.

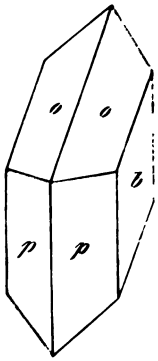


Fig. 244.

Ähnlich wie im rhombischen System leitet man im monoklinen von der Grundform $\pm P$ zunächst eine Reihe von Protopyramiden ab, welche sich von $\pm P$ nur durch ihre längere resp. kürzere Vertikalachse unterscheiden und daher das allgemeine Zeichen $\pm mP$ erhalten. Aus diesen werden nun durch Verlängerung der Orthodiagonale bei gleichbleibender Achse a die Orthopyramiden $\pm mP n$ $(a : nb : mc)$, durch Verlängerung der Klinodiagonale bei gleichbleibender Achse b die Klinopyramiden $\pm mP n$ $(na : b : mc)$ abgeleitet. Dabei bedeutet der durch P gezogene horizontale oder schiefe Strich, dass sich der Koeffizient n auf die horizontale oder auf die geneigte Diagonale der Basis, die Achse b oder a, bezieht.

Die vertikalen Prismen gehen aus den Hemipyramiden hervor, sobald der auf die Vertikalachse bezügliche Koeffizient $m = \infty$ wird. Demnach unterscheidet man das Protoprisma ∞P, die Orthoprismen $\infty \breve{P} n$ und die Klinoprismen $\infty \breve{P} n$. In Fig. 243 und 244 ist $p = \infty P$.

Die Klinodomen (geneigte Prismen) bestehen aus vier Flächen, welche der Klinodiagonale parallel gehen, die beiden anderen Achsen jedoch schneiden. Sie entstehen aus den Klinopyramiden, indem in dem Symbol derselben $n = \infty$ wird. Demnach erhalten sie das allgemeine Zeichen $m\breve{P}\infty$ $(\infty a : b : mc)$. Fig. 245 stellt einen Krystall von Eisenvitriol $(FeSO_4 + 7\,H_2O)$ dar; daselbst ist $o = -P$, $p = \infty P$, q (Klinodoma) $= \breve{P}\infty$ mit $m = 1$.

In dem Symbol der vertikalen Prismen und der Klinodomen fällt das Vorzeichen + oder — weg, weil die Flächen derselben gleichzeitig in einem positiven und einem negativen Raume liegen. Die betreffenden Formen sind gleichzeitig Grenzformen der positiven

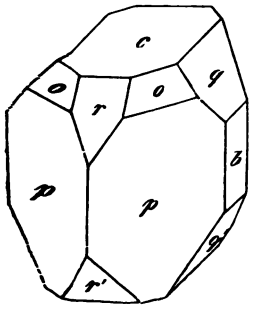


Fig. 245.

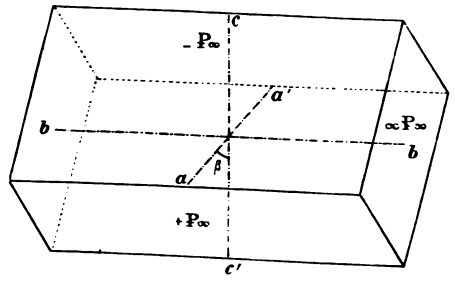


Fig. 246.

und der entsprechenden negativen Hemipyramiden. So geht z. B. das Protoprisma ∞P sowohl aus $+mP$ als aus $-mP$ hervor, wenn $m = \infty$ wird.

Wird in dem Symbol der Orthopyramiden $n = \infty$, so gehen dieselben in positive oder negative Hemidomen über, welche nur mehr aus zwei Flächen bestehen, die der Orthodiagonale parallel sind. Sie erhalten das allgemeine Zeichen $\pm m\breve{P}\infty$ $(a : \infty b : mc)$. Ein positives und ein negatives Hemidoma mit gleichem Koeffizienten m ergänzen sich zu einem vierflächigen horizontalen Prisma oder Orthodoma. Fig. 246 stellt ein solches $(\pm\breve{P}\infty)$ dar. In Fig. 245 ist $r = -\breve{P}\infty$ und $r' = +\breve{P}\infty$.

Was schließlich die drei Pinakoide betrifft, so erhält die Basis parallel der Achsenebene $a\,b$ als Grenzform der Pyramiden $m\,P$ das Zeichen $0P$ s. c in Fig. 253, das Orthopinakoid parallel der Achsenebene $b\,c$ als Grenzform der Orthodomen $m\breve{P}\infty$ das Zeichen $\infty\breve{P}\infty$ und das Klinopinakoid parallel der Achsenebene $a\,c$ als Grenzform der Klinodomen $m\bar{P}\infty$ das Symbol $\infty\bar{P}\infty$ s. Fig. 246 und b in Fig. 253, 254 und 255. Das Klinopinakoid steht, wie aus dem Gesagten folgt, auf den Flächen der Orthodomen, dem Orthopinakoid und der Basis senkrecht.

Zur besseren Übersicht sind im Folgenden die verschiedenen Formen des monoklinen Systems noch einmal zusammengestellt:

Protoreihe.	Orthoreihe.	Klinoreihe.
Protopyramiden	Orthopyramiden	Klinopyramiden
$\pm mP$	$\pm m\breve{P}n$	$\pm m\bar{P}n$
Protoprisma	Orthoprismen	Klinoprismen
∞P	$\infty\breve{P}n$	$\infty\bar{P}n$
—	Orthodomen	Klinodomen
—	$\pm m\breve{P}\infty$	$\cdot m\bar{P}\infty$
Basisches Pinakoid	Orthopinakoid	Klinopinakoid
$0P$	$\infty\breve{P}\infty$	$\infty\bar{P}\infty$

Gyps. Zwei der häufigsten Kombinationen dieses wichtigen Minerals haben wir schon in Fig. 243 und 244 kennen gelernt.

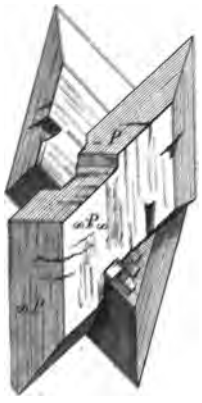


Fig. 247.

Der letzteren Figur entsprechen auch die beiden prächtigen, unregelmäßig mit einander verwachsenen Krystalle von Wehrau (Oberlausitz), welche Figur 247 in naturgetreuer Zeichnung wiedergiebt. Außer den schon erwähnten Formen $\infty\bar{P}\infty$, ∞P, $\pm P$ erscheinen, wenn auch seltener, namentlich noch mehrere Klinoprismen, wie $\infty\bar{P}\frac{3}{2}$ und $\infty\bar{P}2$, ferner die Hemidomen $+\frac{1}{3}\breve{P}\infty$ und $-\frac{1}{3}\breve{P}\infty$, letztere häufig mit gekrümmten Flächen. Die Krystalle sind entweder säulenförmig, oft nach ∞P verlängert, oder tafelartig nach $\infty\bar{P}\infty$, manchmal auch linsenförmig mit gekrümmten Flächen.

Besondere Beachtung verdient die namentlich nach drei Richtungen vorhandene Spaltbarkeit. Am vollkommensten ist diejenige nach dem Klinopinakoid, daher diese Fläche

oft Perlmutterglanz zeigt. Weniger vollkommen ist die zweite nach $+P$; da sie zwei unter stumpfem Winkel zusammenstoßenden Flächen folgt, so erhält man meist nicht eine einzige, ebene Spaltfläche, sondern eine faserig aussehende, oft seidenglänzende Trennung. Die dritte Spaltungsrichtung entspricht dem Orthopinakoid $\infty\breve{P}\infty$; sie liefert, da die Spaltbarkeit nur eine unvollkommene ist, krumme, in flachmuscheligen Bruch übergehende Trennungsflächen.

Zwillingsbildung findet beim Gyps recht häufig statt, und es gewährt bei der oft bedeutenden Größe der Krystalle besonderes Interesse, sie eingehender zu studieren. Sie gehorcht zwei Gesetzen: 1. Zwillingsebene das Orthopinakoid, 2. Zwillingsebene die Fläche des Hemidomas $-\breve{P}\infty$ (d. i. diejenige Fläche, welche die Polkante von $-P$ [o] gerade abstumpft).

Einen Zwilling erster Art zeigt Fig. 248. Die beiden Individuen der Kombination Fig. 244 sind daselbst mit dem Orthopinakoid an einander gewachsen. Auf dem Klinopinakoid bemerkt man bei genauer Betrachtung solcher Zwillinge die Zwillingsgrenze in Form einer feinen Linie, welche vertikal, parallel der Kante $\infty\breve{P}\infty : \infty P$ verläuft. Sehr deutlich giebt sich ferner die Zwillingsnatur dieser Krystalle, wie auch von Spaltungsplatten nach dem Klinopinakoid, dadurch zu erkennen, dass die sehr oft beiderseitig vorhandenen Spaltungsrisse nach $+P$ (n in Fig. 243) auf $\infty\breve{P}\infty$ (b) an der Zwillingsgrenze unter einem Winkel von 132° 28′ zusammenstoßen. Die dritte Spaltungsrichtung (nach dem Orthopinakoid) verläuft in beiden Individuen parallel.

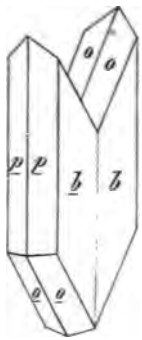


Fig. 248.

Übrigens kommen nach demselben Gesetze auch Zwillinge vor, bei welchen die beiden Krystalle einander durchkreuzen, sowie anderseits solche, wo dieselben seitwärts, mit den Flächen des Klinopinakoids, verwachsen sind.

Hier seien auch die nach dem nämlichen Gesetze gebildeten prachtvollen, bis schenkeldicken wasserhellen Zwillinge von Reinhardsbrunn in Thüringen erwähnt. Dieselben sind oft stark wellig gebogen, wahrscheinlich infolge eines von dem umgebenden Gestein auf sie ausgeübten Druckes. Häufig herrscht das leicht erkennbare Klinopinakoid, auf welchem die Zwillingsgrenze sichtbar ist. Eine

senkrecht ist. Die Ebene der optischen Achsen steht also nunmehr senkrecht zur Symmetrieebene. Bei der Abkühlung finden dieselben Erscheinungen, nur in umgekehrter Reihenfolge statt: der frühere Zustand tritt wieder ein. Auch an mehreren anderen monoklin krystallisierenden Substanzen hat man solche Veränderungen in der Lage der optischen Achsenebene bei steigender Temperatur beobachtet.

die Zwillingsgrenze hinweg auf das andere Individuum fort, indem er an der Grenze eine Knickung von 9° 15′ zeigt und auf dem letzteren Individuum der dritten Spaltbarkeit ($\infty P\infty$) entspricht.

Die großen Zwillinge aus dem körnigen Gyps vom Montmartre weisen stark gekrümmte, in einander verlaufende Flächen auf. Spaltungsplatten nach dem Klinopinakoid besitzen eine schwalbenschwanzähnliche Gestalt (Schwalbenschwanzzwillinge).

Die Härte des Gypses ist 1,5—2. Sehr oft ist er farblos oder weiß, manchmal auch gelblich bis honiggelb, rötlich bis fleischrot, grau bis schwärzlich. Hinsichtlich der optischen Eigenschaften s. unten. Spezif. Gewicht = 2,32.

Der Gyps besteht, wie schon früher erwähnt wurde, aus schwefelsaurem Kalk mit zwei Molekülen Krystallwasser: $CaSO_4 + 2\,H_2O$. Schon beim gelinden Erhitzen (Brennen) verliert er das Krystallwasser, nimmt es aber nach der Abkühlung beim Anfeuchten wieder auf. Hierauf beruht die bekannte Anwendung des gemahlenen und gebrannten Gypses zum Gießen von Figuren, Ornamenten etc., wobei der Gypsbrei infolge der chemischen Bindung des Wassers zu einem festen Körper gesteht. Durch stärkeres Erhitzen (über 200°) wird der Gyps tot gebrannt, d. h. er verliert die Fähigkeit, das Krystallwasser rasch wieder aufzunehmen. Er verhält sich dann ähnlich wie Anhydrit $CaSO_4$. In Wasser ist der Gyps schwer löslich (1 Teil G. löst sich in etwa 400 Teilen Wasser). Aus wässriger Lösung setzen sich leicht Gypskrystalle ab. In vielen Bergbauen finden sich neu gebildete Krystalle, die oft das Grubenholz bedecken, ebenso in den Leitungsröhren der Salinen. Überhaupt tritt der Gyps sehr gern in Begleitung von Steinsalz auf. In den Salzseen scheidet er sich, sobald die Lösung konzentrierter wird, vor dem Steinsalz aus. Über sein Verhältnis zu Anhydrit vergl. S. 264. Der Gyps bildet sich an Orten, wo schwefelwasserstoffhaltige Wässer an der Luft mit Kalkstein oder Mergel in Berührung kommen, indem sich der Schwefel des Schwefelwasserstoffs zu Schwefelsäure oxydiert, welche den kohlensauren Kalk zersetzt. Auch da, wo Schwefelkies oder Markasit verwittert, bildet sich freie Schwefelsäure, welche vorhandene Kalksalze zersetzt und Gyps erzeugt.

Unser Mineral erscheint außer in auf- oder eingewachsenen Krystallen, welche oft zu zierlichen sternförmigen oder kugeligen Gruppen verbunden sind, in klaren, häufig großen spätigen Stücken (Fraueneis oder Marienglas, ein Sinnbild der Reinheit und Keusch-

schmal das Klinopinakoid $\infty\breve{P}\infty$ (M), s. Fig. 251 b. Die Flächen sind fast immer matt.

Nach der Basis und dem Klinopinakoid ist eine ausgezeichnete fast gleich vollkommene Spaltbarkeit vorhanden. Beide Flächen stehen auf einander senkrecht; der Orthoklas ist demnach, worauf sein Name*) hindeutet, rechtwinklig spaltbar. Die Spaltungsrichtung nach $0P$ verrät sich oft durch Sprünge im Inneren der Krystalle oder durch Trennungslinien auf den Flächen. Auch zeigt die Basis häufig deutlichen Perlmutterglanz.

Die weniger glänzenden, meist durchscheinenden bis undurchsichtigen Varietäten (gemeiner Feldspat und glasiger Feldspat oder Sanidin) von milchweißer, gelblichweißer, fleischroter, brauner oder grauer Farbe zeichnen sich durch stärkere Ausdehnung des Klinopinakoids aus. Zuweilen sind sie nach demselben tafelförmig, oft auch gestreckt nach der Kante $P{:}M$, wobei diese beiden Formen rechtwinklige Säulen bilden. Dann tritt oft an die Stelle von x ein steileres Hemidoma $+2\breve{P}\infty$ (y), oder beide kommen zusammen vor.

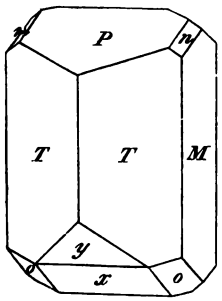


Fig. 252

Fig. 252 zeigt außer den meisten der schon genannten Formen noch die positive Hemipyramide $o = +P$, die Kanten $x{:}M$ abstumpfend, und das Klinodoma $n = 2\breve{P}\infty$ als Abstumpfung der Kanten $M{:}P$. Die Flächen n würden über der Basis unter 90° 7′ (also fast genau senkrecht) zusammenstoßen. Nur selten und dann mit schmalen Flächen erscheint das Orthopinakoid $\infty\breve{P}\infty$, welches den stumpfen Prismenwinkel gerade abstumpft.

Eine Gruppe von gelblichbraunen Orthoklaskrystallen aus dem Ural giebt Fig. 253 in halber natürlicher Größe wieder. Die Krystalle wenden, im Vergleich mit der üblichen Stellung (s. Fig. 252), dem Beschauer die Rückseite zu. Sie zeigen, mit Ausnahme von n, sämtliche erwähnte Formen. Auf M erscheinen Sprünge parallel P; die Flächen T sind matt, wie angeätzt, und mit leistenförmigen Unebenheiten nach der Kante $T{:}P$ bedeckt. —

Zwillingsbildung ist beim Orthoklas häufig und findet nach verschiedenen Gesetzen statt:

*) ὀρθός, rechtwinklig; χλάω, spalte. Der Name »Feldspat« ist wohl nur aus dem bezeichnenderen »Felsspat« entstanden.

spitzen Winkel der optischen Achsen halbiert, in der Symmetrieebene liegen; im zweiten Falle kann sie parallel der Orthodiagonale oder senkrecht zu derselben gerichtet sein, je nachdem nämlich der spitze Achsenwinkel nach rechts und links oder nach vorn und hinten liegt.

Im ersten der drei genannten Fälle sieht man im konvergenten polarisierten Lichte zwischen gekreuzten Nicols ein Achsenbild, wenn man eine Platte senkrecht zur Symmetrieebene und, wie schon S. 267 angegeben, senkrecht zur optischen Mittellinie schleift. Im zweiten Falle muss die Platte parallel zur Symmetrieebene, im dritten hingegen wieder senkrecht dazu geschliffen sein.

Was die Anordnung der Farben angeht, welche man bei Anwendung von weißem Lichte (Tageslicht) in dem optischen Achsenbilde monokliner Krystalle, insbesondere an dem Saume der dunklen Hyperbeln und an den ersten Farbenringen, wahrnimmt, so ist dieselbe nicht so regelmäßig wie bei den rhombischen Krystallen. Man unterscheidet in dieser Beziehung eine dreifache Art der Dispersion oder Farbenzerstreuung, nämlich die geneigte, die gedrehte und die horizontale, entsprechend den drei oben genannten Fällen der Lage der optischen Achsen*).

Beim Gyps liegen die optischen Achsen bei gewöhnlicher Temperatur in der Symmetrieebene; mit der Vertikalachse bildet die eine einen Winkel von 83°, die andere einen solchen von 22°. Sie schneiden sich also unter 61°. Um das Achsenbild zu sehen, muss man eine Platte senkrecht zur Symmetrieebene so schleifen, dass man die stumpfe Ecke Fig. 244, welche von den vier Flächen *p* und *o* gebildet wird, wegnimmt. Sehr interessant ist das optische Verhalten des Gypses beim Erwärmen. Man hat gefunden, dass der von den optischen Achsen gebildete spitze Winkel bei höherer Temperatur kleiner wird. Bei etwa 80° C. fallen beide Achsen in eine gegen *c* unter $52\frac{1}{2}°$ geneigte Linie zusammen. Die beiden Hyperbeln des Achsenbildes vereinigen sich dann zu einem Kreuz, aber bei höherer Temperatur gehen sie wieder in einer Ebene auseinander, welche zur vorigen Achsenebene, d. i. zur Symmetrieebene.

*) Das Nähere über diese Erscheinungen und ihre Erklärung, worauf einzugehen hier zu weit führen würde, findet man in ausführlicheren Lehrbüchern der Krystallographie oder Physik, z. B. in dem vortrefflichen Buche: Physikalische Krystallographie, von Prof. Groth, Leipzig 1885.

senkrecht ist. Die Ebene der optischen Achsen steht also nunmehr senkrecht zur Symmetrieebene. Bei der Abkühlung finden dieselben Erscheinungen, nur in umgekehrter Reihenfolge statt; der frühere Zustand tritt wieder ein. Auch an mehreren anderen monoklin krystallisierenden Substanzen hat man solche Veränderungen in der Lage der optischen Achsenebene bei steigender Temperatur beobachtet.

XXVII.

Orthoklas, Augit, Hornblende, Glimmer.

1. Der **Orthoklas** (Kalifeldspat, Feldspat) ist außerordentlich verbreitet und nimmt als wesentlicher Bestandteil vieler Gesteine, wie Granit, Gneiß, Porphyr und Trachyt, an der Zusammensetzung der festen Erdrinde hervorragenden Anteil. Zugleich liefert er in seinen Krystallen, welche sich oft vortrefflich ausgebildet in jenen Gesteinen auf- und eingewachsen finden, ein besonders schönes und lehrreiches Beispiel einer monoklinen Formentwicklung.

Häufig zeigen die Krystalle einfache Kombinationen, deren Deutung keine Schwierigkeit bereitet. So das Protoprisma ∞P (T) mit der Basis $0P$ (P) und dem Hemidoma $+ P\infty$ (x), welche Kombination Fig. 251 a darstellt. Der vordere Prismenwinkel beträgt 118° 47′, die Basis ist gegen die Kanten von ∞P unter 63° 57′, das Hemidoma gegen dieselben unter 65° 46′ geneigt. Daraus lässt sich das Achsenverhältnis

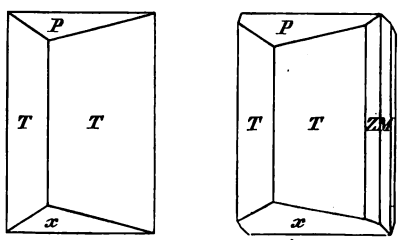


Fig. 251.

$a : b : c = 0{,}6585 : 1 : 0{,}5554$

berechnen, wobei β gleich 63° 57′ ist. Diese Kombination findet sich namentlich an den farblosen oder nur licht gefärbten, stark glänzenden und durchsichtigen Krystallen, welche man als Varietät mit dem Namen Adular belegt. Zu den Formen ∞P, $0P$ und $+ P\infty$ tritt an ihnen gern noch das Klinoprisma $\infty P3$ (z), auch wohl

schmal das Klinopinakoid $\infty\breve{P}\infty$ (M), s. Fig. 251 b. Die Flächen z sind fast immer matt.

Nach der Basis und dem Klinopinakoid ist eine ausgezeichnete, fast gleich vollkommene Spaltbarkeit vorhanden. Beide Flächen stehen auf einander senkrecht; der Orthoklas ist demnach, worauf sein Name*) hindeutet, rechtwinklig spaltbar. Die Spaltungsrichtung nach $0P$ verrät sich oft durch Sprünge im Inneren der Krystalle oder durch Trennungslinien auf den Flächen. Auch zeigt die Basis häufig deutlichen Perlmutterglanz.

Die weniger glänzenden, meist durchscheinenden bis undurchsichtigen Varietäten (gemeiner Feldspat und glasiger Feldspat oder Sanidin) von milchweißer, gelblichweißer, fleischroter, brauner oder grauer Farbe zeichnen sich durch stärkere Ausdehnung des Klinopinakoids aus. Zuweilen sind sie nach demselben tafelförmig, oft auch gestreckt nach der Kante P:M, wobei diese beiden Formen rechtwinklige Säulen bilden. Dann tritt oft an die Stelle von x ein steileres Hemidoma $+2\breve{P}\infty$ (y), oder beide kommen zusammen vor. Fig. 252 zeigt außer den meisten der schon genannten Formen noch die positive Hemipyramide $o = +P$, die Kanten x:M abstumpfend, und das Klinodoma $n = 2\breve{P}\infty$ als Abstumpfung der Kanten M:P. Die Flächen n würden über der Basis unter 90° 7′ (also fast genau senkrecht) zusammenstoßen. Nur selten und dann mit schmalen Flächen erscheint das Orthopinakoid $\infty\breve{P}\infty$, welches den stumpfen Prismenwinkel gerade abstumpft.

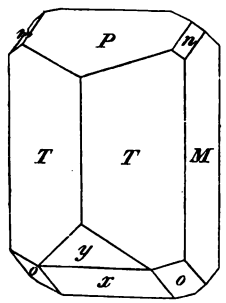


Fig. 252

Eine Gruppe von gelblichbraunen Orthoklaskrystallen aus dem Ural giebt Fig. 253 in halber natürlicher Größe wieder. Die Krystalle wenden, im Vergleich mit der üblichen Stellung (s. Fig. 252), dem Beschauer die Rückseite zu. Sie zeigen, mit Ausnahme von n, sämtliche erwähnte Formen. Auf M erscheinen Sprünge parallel P; die Flächen T sind matt, wie angeätzt, und mit leistenförmigen Unebenheiten nach der Kante T:P bedeckt. —

Zwillingsbildung ist beim Orthoklas häufig und findet nach verschiedenen Gesetzen statt:

*) ὀρθός, rechtwinklig; χλάω, spalte. Der Name »Feldspat« ist wohl nur aus dem bezeichnenderen »Felsspat« entstanden.

1. Zwillingsebene das Orthopinakoid. Geht man von zwei parallelen Individuen aus, so gelangt man zu der Zwillingsstellung, wenn man das eine um 180° um die Vertikalachse dreht. Die nach diesem Gesetz gebildeten Zwillinge werden nach dem bekannten Vorkommen bei Karlsbad als Karlsbader Zwillinge bezeichnet. Sie finden sich im Granit, Porphyr und Trachyt eingewachsen, aus welchen Gesteinen sie herausgeschlagen werden können oder bei der Verwitterung herausfallen. Sehr schön sind die aufgewachsenen schneeweißen Zwillinge von St. Pietro auf Elba, welche im turmalinführenden Granit erscheinen, sowie diejenigen von Hirschberg und Striegau in Schlesien. Die eingewachsenen Zwillinge sind meist stark nach der Orthodiagonale verkürzt, also nach *M* tafelartig. Dabei legen sich beide Individuen mit dem

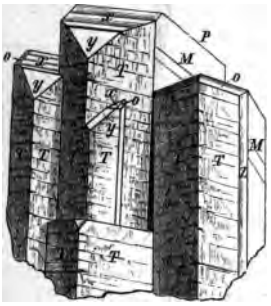


Fig. 253.

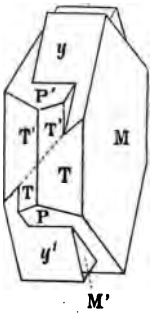


Fig. 254.

Klinopinakoid aneinander, oder es dringt vielmehr das eine Individuum in das andere ein, wie es Fig. 254 darstellt. Solche Zwillinge liegen z. B. massenhaft in dem Trachyt des Drachenfels (Siebengebirge); dieselben sind grau gefärbt und gehören dem Sanidin an. Bei den Zwillingen von Elba und Schlesien herrscht am Ende neben *P* statt *y* das Hemidoma *x*, dessen Neigung gegen die Vertikalachse von derjenigen der Basis nur wenig (1° 49′) verschieden ist. Beide Individuen sind meist mit *M* verwachsen, ohne einander zu durchdringen, und das eine legt sein *x* dahin, wo das andere sein *P* hat (Fig. 255 S. 308). Die neben einander liegenden Flächen *x* und *P* spiegeln aber gleichzeitig, woraus hervorgeht, dass bei diesen Zwillingen beide Flächen gleiche Neigung gegen die Vertikalachse haben. Dies ist wohl als eine Folge der Zwillingsverwachsung zu betrachten,

peratur und eines starken Druckes, aus Lösungen entstanden sind, als auf trockenem Wege durch Erstarrung aus dem Schmelzflusse (vergl. S. 74).

Zuweilen hat man Orthoklaskrystalle als zufällige künstliche Bildungen in Zink- und Kupferöfen, auch in Eisenhochöfen, beobachtet. Auch ist es gelungen, solche Krystalle künstlich durch Schmelzen geeigneter Mischungen, wie anderseits aus überhitzten wässrigen Lösungen darzustellen.

Im Folgenden sind die schon erwähnten Varietäten noch einmal nach ihren besonderen Merkmalen und ihrem Vorkommen zusammengestellt:

1. Adular, in schönen aufgewachsenen Krystallen; farblos bis weiß, stark glänzend, durchsichtig bis durchscheinend, zuweilen mit einem — besonders in der Richtung senkrecht zum Orthopinakoid bemerkbaren — bläulichen Lichtschein (Mondstein); namentlich auf Gängen und in Hohlräumen im Granit und Gneiß: St. Gotthard, Tirol, Dauphinée, Ceylon.

2. Gemeiner Feldspat, gleichfalls oft schön krystallisiert, ein- und aufgewachsen, häufig auch in großen spätigen Stücken ohne deutliche Formausbildung; sehr verbreitet als wesentlicher Gemengteil wichtiger Gesteine (Granit, Syenit, Gneiß, Porphyr); weiß, grau, gelblich, braun, rötlich, durchscheinend bis undurchsichtig; schöne Krystalle bei Karlsbad und Petschau in Böhmen, Hirschberg und Striegau in Schlesien, Baveno am Lago maggiore, Arendal, auf Elba, in Sibirien.

3. Sanidin (glasiger Feldspat); Krystalle eingewachsen, rissig, glasglänzend, grau, durchscheinend; im Trachyt und in ähnlichen Gesteinen: Drachenfels im Siebengebirge, Böhmen, Mexiko. — Zum glasigen Feldspat zu rechnen sind auch die kleinen, wasserhellen, aufgewachsenen Krystalle, welche sich in den vulkanischen Auswürflingen vom Laacher See, aus der Eifel und vom Vesuv finden. Man bezeichnet sie als Eisspat. Zuweilen scheinen dieselben durch Sublimation entstanden zu sein.

2. **Augit** (Pyroxen) weist einen großen Reichtum an Formen und Kombinationen auf. Wir heben nur einige der wichtigsten hervor und beginnen mit der in Fig. 260 dargestellten gewöhnlichen Kombination des sogen. gemeinen Augits. Derselbe findet sich meist in mattflächigen, undurchsichtigen, schwarzen Krystallen in

vulkanischen Gesteinen oder Tuffen; auch werden solche lose Krystalle bei Eruptionen ausgeworfen. Daran ist $M = \infty P$, $r = \infty \breve{P}\infty$, $l = \infty \breve{P}\infty$, $s = +P$. Die Figur ist (ebenso wie Fig. 262 u. 263) so gezeichnet, dass die Achse a, welche mit c einen Winkel von 74° 11′ einschließt, vorn nach oben geneigt ist; sie ist also gegen die sonst übliche Stellung um 180° gedreht. Die Prismenflächen bilden vorn einen Winkel von 87° 6′, die Flächen s stoßen unter 120° 48′ zusammen. Oft ist die Kante $s:s$ durch das Hemidoma $+\breve{P}\infty$ gerade abgestumpft. Solche Krystalle verwachsen gern nach dem Gesetze: »Zwillingsebene das Orthopinakoid«; dadurch entstehen Gestalten wie Fig. 261, indem beide Individuen einander in der Zwillingsebene berühren. Die einfachen Krystalle und Zwillinge finden sich u. a. bei Oberbergen im Kaiserstuhl (Baden), Üdersdorf in der Eifel, Boreslaw und Schima in Böhmen, am Vesuv.

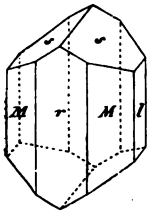


Fig. 260.

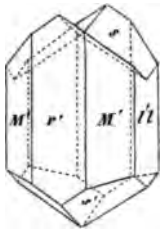


Fig. 261.

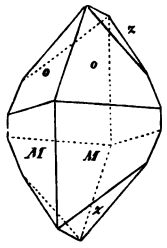


Fig. 262.

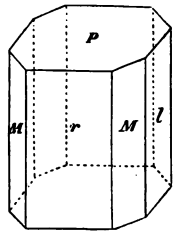


Fig. 263.

Andere dunkelgrüne bis schwarzgrüne, glänzende, meist aufgewachsene Augitkrystalle, welche, wie Fig. 262, außer ∞P eine positive Hemipyramide $o = 2P$ und ein Klinodoma $z = 2\breve{P}\infty$, oft auch flächenreichere Kombinationen zeigen, werden als Fassait bezeichnet. Die beiden Pinakoide treten daran zurück. Solche Krystalle kommen vor im Fassathal (Tirol), am Vesuv, bei Traversella. Häufig bilden auch sie Zwillinge nach dem erwähnten Gesetz.

Wieder anders gestaltet sind diejenigen Krystalle, bei welchen neben $\infty \breve{P}\infty$ und $\infty \breve{P}\infty$ das Hemidoma $+\breve{P}\infty$ (P) herrscht, während ∞P mehr zurücktritt, auch wohl nur als schmale Abstumpfung der Kante $r:l$ erscheint (Fig. 263). Das Hemidoma ist gegen die Vertikalachse unter 74° 30′ geneigt. Kommt nun noch die Basis hinzu, welche, da $\beta = 74° 11'$, fast genau dieselbe Neigung zur Achse c besitzt, so erscheint die Endigung der Krystalle wie ein rhombisches Doma, aufgesetzt auf eine quadratische Säule. Die

beiden Endflächen sind in der Regel matt, während die übrigen Flächen stark glänzen. Solche ein- und aufgewachsene Krystalle beobachtet man in schönster Ausbildung bei Nordmarken in Werm— land. Sie sind von grünlichschwarzer Farbe. Ähnliche Krystalle, zuweilen langsäulenförmig, finden sich aufgewachsen zusammen mit prächtig glänzenden Epidotnadeln zu Obersulzbach im Pinzgau. Neben einfachen Individuen kommen zierliche Zwillinge nach dem Orthopinakoid mit einspringendem Winkel an der Endigung vor.

Der durch das Vorherrschen von r und l bedingte rechtwinklig-säulenförmige Habitus ist auch charakteristisch für die nach der Vertikalachse stark verlängerten, aufgewachsenen, meist blassgrünen bis lauchgrünen, durchsichtigen bis durchscheinenden Krystalle, welche man als Diopsid bezeichnet. Dieselben kommen zusammen mit Granat auf der Mussa-Alp in Piemont und bei Achmatowsk im Ural vor. Hierhin gehören auch die graulichgrünen, strahligen Aggregate des sogen. glasigen Strahlsteins, welche oft Krystallendigungen zeigen und sich im Zillerthal finden. Die Diopsidkrystalle sind häufig sehr flächenreich; neben den vertikalen Pinakoiden erscheinen schmal die Flächen von ∞P (M), ferner $0P$ (t) und $+P\infty$ (P), letztere beide matt, mehrere Hemipyramiden, wie $+2P$ (o), $+P$ (s), und $-P$ (u). Fig. 264 zeigt eine solche Kombination, und zwar in der üblichen Stellung von oben, in der Richtung der Vertikalachse gesehen. Ganz farblose oder weiße aufgewachsene Krystalle sind selten (Rezbanya).

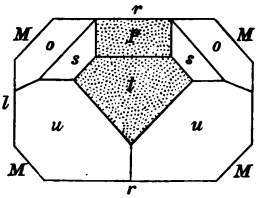


Fig. 264.

Eine wichtige Rolle spielt der Augit als Gemengteil verbreiteter Gesteine. So tritt er als Diallag im Gabbro auf, einer oft grobkörnigen Felsart. Der Diallag ist braun, grau oder schmutziggrün, nicht frei auskrystallisiert, erscheint jedoch häufig in großen, nach r dicktafelförmigen Individuen, welche zugleich, abweichend von den bisher erwähnten Varietäten des Augits, eine deutliche Spaltbarkeit nach r zeigen. Auf dieser Fläche bemerkt man oft einen metallartigen Perlmutterglanz. Der gemeine Augit ist — häufig in mikroskopisch kleinen Individuen — ein Bestandteil vieler Eruptivgesteine, wie von Diabas, Basalt, Dolerit und Lava. Er zeichnet sich aus durch die große Zahl und Mannigfaltigkeit der in ihm enthaltenen mikroskopischen Einschlüsse (Krystallnadeln, schwarze Körner von

peratur wirkt ein starker Druck auf die optischen Verhältnisse ein. Da beides in der Natur wohl vorkommen kann, so ist es nicht zu verwundern, dass bei manchen Orthoklaskrystallen die optische Achsenebene mit der Symmetrieebene zusammenfällt, ja dass sie sogar an verschiedenen Stellen desselben Krystalls verschiedene Lage haben kann.

Nach dem S. 302 Gesagten versteht es sich von selbst, dass auf einer Spaltungsplatte nach der Basis die Auslöschungsrichtungen parallel und senkrecht zur Kante $P:M$ liegen müssen.

Die chemische Zusammensetzung unseres Minerals entspricht der Formel: $K_2Al_2Si_6O_{16}$ (kieselsaure Thonerde mit kieselsaurem Kali); man kann dieselbe ableiten von dem vierfachen Molekül der vierbasischen Kieselsäure: $4(H_4SiO_4) = H_{16}Si_4O_{16}$, indem darin die Wasserstoffatome durch zwei einwertige Atome von Kalium, zwei dreiwertige von Aluminium und zwei vierwertige von Silicium ersetzt werden. Meist ist etwas Kalium durch Natrium vertreten, und es finden sich kleine Beimengungen von Kalk, Eisen und Magnesia.

Von Säuren, ausgenommen Flusssäure, wird der Orthoklas kaum angegriffen. Sehr oft unterliegt derselbe unter dem dauernden Einflusse des Wassers und der Kohlensäure der Verwitterung zu Porzellanerde (Kaolin , welche in ihrem reinsten Zustande ein weißes, mehlartiges Pulver bildet und aus wasserhaltiger kieselsaurer Thonerde besteht. Bei dieser Umwandlung findet einerseits durch die zersetzende Einwirkung der Kohlensäure eine Wegführung von Kali (als kohlensaures Kali und ein Freiwerden von Kieselsäure, anderseits eine Aufnahme von Wasser statt. Häufig erleidet der Orthoklas auch eine Umwandlung in den, gleichfalls aus Kieselsäure, Thonerde und Kali bestehenden Muscovit (Kaliglimmer).

Wenngleich anzunehmen ist, dass gewisse Orthoklaskrystalle, wie namentlich die im Porphyr und im Trachyt eingeschlossenen, ebenso wie die sie beherbergenden Gesteine bei hoher Temperatur aus dem Schmelzflusse, entstanden sind, so ist doch für andere die Möglichkeit einer Bildung aus wässrigen Lösungen nicht zu bezweifeln. Dafür spricht das, wenn auch seltene, Vorkommen auf Erzgängen, und es ist weit wahrscheinlicher, dass die prächtigen, manchmal sehr großen aufgewachsenen Krystalle, welche man auf Klüften und Spalten im Granit und Gneiß antrifft, auf nassem Wege, wenn auch vielleicht unter Mitwirkung einer erhöhten Tem-

beiden Endflächen sind in der Regel matt, während die übrigen Flächen stark glänzen. Solche ein- und aufgewachsene Krystalle beobachtet man in schönster Ausbildung bei Nordmarken in Wermland. Sie sind von grünlichschwarzer Farbe. Ähnliche Krystalle, zuweilen langsäulenförmig, finden sich aufgewachsen zusammen mit prächtig glänzenden Epidotnadeln zu Obersulzbach im Pinzgau. Neben einfachen Individuen kommen zierliche Zwillinge nach dem Orthopinakoid mit einspringendem Winkel an der Endigung vor.

Der durch das Vorherrschen von r und l bedingte rechtwinkligsäulenförmige Habitus ist auch charakteristisch für die nach der Vertikalachse stark verlängerten, aufgewachsenen, meist blassgrünen bis lauchgrünen, durchsichtigen bis durchscheinenden Krystalle, welche man als Diopsid bezeichnet. Dieselben kommen zusammen mit Granat auf der Mussa-Alp in Piemont und bei Achmatowsk im Ural vor. Hierhin gehören auch die graulichgrünen, strahligen Aggregate des sogen. glasigen Strahlsteins, welche oft Krystallendigungen zeigen und sich im Zillerthal finden. Die Diopsidkrystalle sind häufig sehr flächenreich; neben den vertikalen Pinakoiden erscheinen schmal die Flächen von $\infty P\,(M)$, ferner $0P\,(t)$ und $+P\infty\,(P)$, letztere beide matt, mehrere Hemipyramiden, wie $+2P\,(o)$, $+P\,(s)$, und $-P\,(u)$. Fig. 264 zeigt eine solche Kombination, und zwar in der üblichen Stellung von oben, in der Richtung der Vertikalachse gesehen. Ganz farblose oder weiße aufgewachsene Krystalle sind selten (Rezbanya).

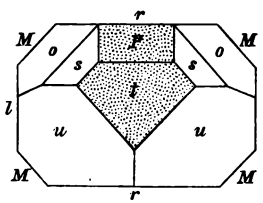


Fig. 264.

Eine wichtige Rolle spielt der Augit als Gemengteil verbreiteter Gesteine. So tritt er als Diallag im Gabbro auf, einer oft grobkörnigen Felsart. Der Diallag ist braun, grau oder schmutziggrün, nicht frei auskrystallisiert, erscheint jedoch häufig in großen, nach r dicktafelförmigen Individuen, welche zugleich, abweichend von den bisher erwähnten Varietäten des Augits, eine deutliche Spaltbarkeit nach r zeigen. Auf dieser Fläche bemerkt man oft einen metallartigen Perlmutterglanz. Der gemeine Augit ist — häufig in mikroskopisch kleinen Individuen — ein Bestandteil vieler Eruptivgesteine, wie von Diabas, Basalt, Dolerit und Lava. Er zeichnet sich aus durch die große Zahl und Mannigfaltigkeit der in ihm enthaltenen mikroskopischen Einschlüsse (Krystallnadeln, schwarze Körner von

Magneteisen, zuweilen Leucitkryställchen, selbst flüssige Kohlensäure).

Es erübrigt noch, die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Augits kurz zu besprechen. Er besitzt eine wenig deutliche Spaltbarkeit nach ∞P (der Diallag eine deutliche nach $\infty P\infty$) und muscheligen Bruch; seine Härte ist 5—6, sein spezifisches Gewicht schwankt wegen der wechselnden Zusammensetzung zwischen 2,9 und 3,5. Die optischen Achsen liegen in der Symmetrieebene; die optische Mittellinie fällt in den stumpfen Winkel der Achse *a* und *c* und bildet mit *c* einen mit der Zusammensetzung wechselnden Winkel.

In chemischer Hinsicht unterscheidet man thonerdefreie und thonerdehaltige Augite. Die thonerdefreien, meist lichter gefärbten (Diopsid) sind nach der Formel $CaMgSi_2O_6$ zusammengesetzt, enthalten jedoch gewöhnlich etwas Eisen, welches eine entsprechende Menge des Magnesiums ersetzt. Die thonerdehaltigen, dunklen Augite (gemeiner Augit, Fassait) enthalten noch 4—9% Thonerde und Eisenoxyd. Der Diallag steht hinsichtlich seiner Zusammensetzung in der Mitte zwischen beiden.

3. **Hornblende** (Amphibol). Dieses Mineral steht zum Augit in naher Beziehung, da es mit demselben hinsichtlich der Zusammensetzung übereinstimmt. Auch krystallisiert es wie jener in Formen des monoklinen Systems, indes mit abweichenden Winkeln und anderem Achsenverhältnisse. Augit und Hornblende liefern demnach ein Beispiel von Dimorphismus innerhalb desselben Krystallsystems. Die Hornblendekrystalle weisen im ganzen einen weit geringeren Flächenreichtum und weniger zahlreiche Kombinationen auf, sind auch im allgemeinen nicht so vollkommen ausgebildet wie diejenigen des Augits. Das stets vorhandene Protoprisma besitzt einen vorderen stumpfen Winkel von $124\frac{1}{2}^\circ$; seinen Flächen geht eine deutliche Spaltbarkeit parallel, welche im Zusammenhang mit jenem Winkel ein gutes Unterscheidungsmerkmal von dem oft äußerlich sehr ähnlichen Augit liefert. Gewöhnlich sind die seitlichen, scharfen Prismenkanten durch das Klinopinakoid, weit seltener die stumpfen durch das Orthopinakoid gerade abgestumpft. Das Protoprisma bildet mit dem Klinopinakoid eine sechsseitige Säule, welche in ihren Winkeln einer hexagonalen ziemlich nahe kommt. Dem Klinopinakoid geht eine nur undeutliche Spaltbarkeit parallel. An der Endigung der Krystalle erscheint häufig die Basis,

welche gegen die Vertikalachse unter 75° 10′ (= β) geneigt ist. Hierzu tritt die positive Hemipyramide P, deren Flächen an der Vertikalachse unter 148° 30′ zusammenstoßen. Fig. 265 zeigt eine Kombination, welche für die pechschwarze, sogen. basaltische Hornblende charakteristisch ist. Daran ist $p = \infty P$, $b = \infty\breve{P}\infty$, $c = 0P$ und $o = +P$. Die Kante $o:b$ ist oft durch eine Klinopyramide $+ 3\breve{P}3$ abgestumpft, während zwischen c und b ein Klinodoma $2\breve{P}\infty$ auftritt. Solche Krystalle, häufig mit gerundeten, wie angeschmolzen (geflossen) erscheinenden Kanten, finden sich im Basalttuff bei Ehningen in Württemberg, bei Schima in Böhmen, im Trachyt des Siebengebirges und an vielen anderen Orten.

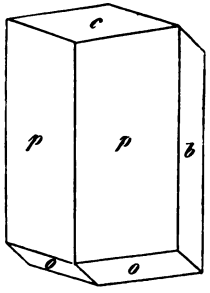


Fig. 265.

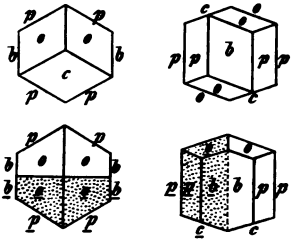


Fig. 266.

In den Auswürflingen des Vesuv und vom Laacher See kommt die basaltische Hornblende in Form feiner schwarzer Nadeln vor. Häufig findet Zwillingsbildung nach $\infty\breve{P}\infty$ statt. An solchen Zwillingen der Kombination Fig. 265 nimmt man wohl, wenn beide Individuen gerade zur Hälfte ausgebildet sind und sich in der Zwillingsebene berühren, keine einspringenden Winkel wahr. Sie zeigen dann an dem einen Ende eine scheinbare rhombische Pyramide, gebildet von vier Flächen o, während am anderen die beiderseitigen Flächen c sich zu einem rhombischen Doma vereinigen. Fig. 266 macht dies klar. Sie stellt links oben einen einfachen Krystall, links unten einen Zwilling dar, beide von oben in der Richtung der Vertikalachse gesehen (das eine Individuum ist punktiert). Rechts ist gleichfalls ein einfacher und ein Zwillingskrystall gezeichnet, diesmal beide in der Richtung der Orthodiagonale gesehen. In beiden Fällen steht die Zwillingsebene $\infty\breve{P}\infty$ senkrecht zur Ebene der Figur.

Bei der sogen. gemeinen Hornblende, welche schwarz mit einem Stich ins Grüne gefärbt ist, beobachtet man das Protoprisma mit dem Klinodoma $P\infty$ (Polkantenwinkel 148° 16′, also fast gleich dem Polkantenwinkel von + *P*) und dem Orthopinakoid. Derartige Krystalle kommen besonders schön bei Arendal vor. Als Gemengteil vieler älteren Gesteine, wie Syenit und Diorit, ist die gemeine Hornblende in stengeligen Aggregaten und Körnern weit verbreitet. Der Hornblendeschiefer besteht zum größten Teil daraus.

Schließlich seien noch die weißen, grauen oder hell- bis dunkelgrünen, langsäulenförmigen Krystalle erwähnt, welche man als Grammatit (weiß, grau, hellgrün), oder als Strahlstein (lauch- bis dunkelgrün) bezeichnet. An ersterem tritt das Protoprisma mit dem Orthopinakoid, an letzterem mit dem Klinopinakoid auf, während deutliche Endflächen meist nicht wahrzunehmen sind. Der Grammatit findet sich eingewachsen im körnigen Kalkstein und Dolomit (Campolongo am St. Gotthard), der Strahlstein im Talkschiefer (Greiner im Zillerthal). Eine eigentümliche Bildung stellt der weißliche, graue oder grüne Asbest dar, eine äußerst feinfaserige oder haarförmige Varietät von Grammatit oder Strahlstein. Er ist biegsam, filzartig und seidenglänzend; findet sich bei Reichenstein in Schlesien, Zöblitz in Sachsen, am St. Gotthard, in Tirol.

Die Spaltbarkeit der Hornblende wurde schon angegeben. Hinsichtlich der Härte und des spezif. Gewichtes stimmt sie mit Augit überein. Die frischen Krystalle besitzen Glasglanz und sind durchscheinend bis undurchsichtig. Die optischen Achsen liegen auch hier in der Symmetrieebene; die optische Mittellinie fällt in den stumpfen Winkel *a*:*c* und bildet mit der Vertikalachse einen Winkel von etwa 75°.

Man unterscheidet (ebenso wie beim Augit) thonerdefreie, meist heller gefärbte und thonerdehaltige, dunkle Varietäten. Zu ersteren gehören Grammatit und Strahlstein, zu letzteren die basaltische und die gemeine Hornblende.

4. **Glimmer.** Unter diesem Namen fasst man eine Reihe isomorpher Mineralien zusammen, welche sich durch eine sehr vollkommene Spaltbarkeit nach einer Fläche, der Basis, auszeichnen und infolge dessen auf dieser Fläche oft einen starken, dem Metallglanz nahekommenden Perlmutterglanz zeigen. Auf diesen Glanz deutet auch der Name Glimmer, sowie die volkstümliche Bezeich-

nung »Katzensilber« oder »Katzengold« hin. Durch vorsichtiges Abspalten kann man leicht die dünnsten Blättchen herstellen, welche biegsam und elastisch sind.

Krystalle von Glimmer, welche sichere Messungen der Winkel gestatten, sind nur selten. Meist erscheinen sie in Form von nach der Spaltungsfläche ausgedehnten Tafeln mit schmalen Seitenflächen. Über das Krystallsystem haben lange Zeit Zweifel geherrscht; man hielt den Glimmer teils für rhombisch, teils für hexagonal, da die Tafeln entweder rhombischen oder regelmäßig-sechsseitigen Umriss zeigen. Dazu kam die Ähnlichkeit der optischen Eigenschaften mit den vom rhombischen resp. hexagonalen System geforderten. Gewisse Glimmerarten erwiesen sich optisch-zweiachsig, andere einachsig. Erneute genaue Untersuchungen haben dann aber gelehrt, dass alle Glimmer in Wirklichkeit optisch-zweiachsig sind, wenn auch bisweilen mit ungemein kleinem Achsenwinkel, wodurch eine Annäherung an optisch-einachsige Krystalle stattfindet. Ferner fand man, dass die optische Mittellinie nicht, wie man früher annahm, genau senkrecht auf der Basis steht, sondern innerhalb der Achsenebene $a\ c$ ein wenig von dieser Richtung abweicht. Dies entscheidet gegen das rhombische System und spricht für das monokline, welches denn auch mit den wiederholt angestellten Winkelmessungen übereinstimmt. Doch nähert sich bei gewisser Aufstellung resp. Wahl der Achsen der Achsenwinkel β sehr einem Rechten.

Die mit Flusssäure oder geschmolzenem Ätzkali (*KHO*) auf der Basis des Muscovits (s. unten) erhaltenen Ätzfiguren, welche den auf $0P$ des Orthoklases erscheinenden (Fig. 19) im allgemeinen ähnlich sind, beweisen ebenso wie das optische Verhalten die Zugehörigkeit des Glimmers zum monoklinen System.

Außer den einfachen, rhombisch oder hexagonal erscheinenden Tafeln kommen indes, wenngleich seltener, auch Kombinationen vor, welche entschieden monoklines Aussehen zeigen. Häufig sind Zwillinge nach ∞P, wobei die beiden Individuen entweder, in der Zwillingsebene sich berührend, neben einander oder, in $0P$ zusammenstoßend, über einander liegen.

Die Strahlen der auf $0P$ leicht hervorzurufenden Schlagfigur (Fig. 15) gehen den Seiten der von ∞P und $\infty P\infty$ begrenzten Basis parallel.

Bei allen Glimmern zeigen Spaltungsblättchen im konvergenten polarisierten Lichte ein Achsenbild. Dabei erscheint aber die Achsen-

ebene in den einen senkrecht zur Symmetrieebene, wobei sie gleichzeitig senkrecht zu einem Strahl der Schlagfigur liegt, bei den anderen parallel zur Symmetrieebene, also auch parallel zu einem Strahl der Schlagfigur.

Die Härte der verschiedenen Glimmerarten liegt zwischen 2 und 3, ihr spezifisches Gewicht zwischen 2,7 und 3,2.

Man unterscheidet im wesentlichen:

1. Muscovit (Kaliglimmer); farblos oder hell, meist gelb, graulich oder braun gefärbt, durchsichtig bis durchscheinend. Die chemische Zusammensetzung ist schwankend und lässt sich im allgemeinen durch die Formel $H_4K_2(Al_2)_3(SiO_4)_6$ ausdrücken, worin jedoch ein Teil des Kaliums durch entsprechende Mengen von Natrium und Magnesium, ein Teil des Aluminiums durch Eisen und endlich ein Teil des Sauerstoffs durch Fluor ersetzt ist. Der Muscovit erscheint zuweilen in Pseudomorphosen nach Orthoklas, Granat und anderen Mineralien. Er ist sehr verbreitet als Gemengteil wichtiger Gesteine, wie Granit, Gneiß und Glimmerschiefer, und wird in bis fußgroßen Platten auf Drusenräumen derselben oder im großkörnigen Gestein angetroffen. Als besonders bekannte Fundorte seien genannt: Aschaffenburg, Bodenmais, St. Gotthard, Fahlun, Finnland, Ural, Sibirien, Pennsylvanien.

In Sibirien benutzt man wohl die großen und klaren Varietäten zu Fensterscheiben (russisches Glas); ferner verfertigt man daraus Lampencylinder und setzt Glimmerplatten in Öfen ein, wodurch man das Feuer sehen und regulieren kann.

2. Biotit (Magnesiaglimmer); meist dunkel gefärbt: grün, braun, schwarz, in der Regel nur durchscheinend bis undurchsichtig. Er kann betrachtet werden als eine isomorphe Mischung einer muscovitähnlichen Verbindung mit einer solchen der Formel:

$$(Mg, Fe)_{12}\,(SiO_4)_6\,.$$

In der Regel ist in der ersteren ein Teil des Aluminiums durch Eisen ersetzt. Der Biotit bildet Pseudomorphosen nach Granat, Augit und Hornblende. Er ist gleichfalls weit verbreitet als Gemengteil mehrerer Gesteine, wie von Granit, Gneiß, Glimmerschiefer, Trachyt, Lava. Auch kommt er in vulkanischen Auswürflingen vor. Einige Fundorte sind: Bodenmais, Laacher See, Nöskilen bei Arendal, Helsing in Finnland, Vesuv, Ilmengebirge (hier Platten von über 1 m im Durchmesser), Pennsylvanien.

3. Lepidolith und Zinnwaldit, zusammen als Lithionglimmer bezeichnet. Ersterer ist rot, letzterer grau gefärbt: beide können in gewissem Sinne als lithinmhaltiger Muscovit betrachtet werden. Im übrigen ist ihre chemische Zusammensetzung kompliziert und schwankend. Der Lepidolith enthält kein Eisen, der Zinnwaldit 8–15 % Eisenoxyd, ersterer ist durch etwas Manganoxyd gefärbt. Der Lepidolith findet sich bei Penig in Sachsen, Rozena in Mähren, der Zinnwaldit bei Zinnwald in Böhmen, Altenberg in Sachsen.

XXVIII.

Epidot, Harmotom, Rohrzucker.

1. Epidot. Derselbe zeichnet sich durch die eigentümliche Ausbildung seiner Krystalle sowie häufig durch großen Flächenreichtum aus. Man kennt schon über 200 verschiedene an ihm auftretende Formen. Eine einfache Kombination sehr gewöhnlicher Art zeigt Fig. 267. Daselbst ist $M = 0P$, $T = \infty P\infty$, $r = +P\infty$, $l = +2P\infty$, $z = \infty P$ und $n = +P$. Der Winkel $M:T$ beträgt 115° 24′, demnach ist $\beta = 64° 36'$ (180° — 115° 24′). Zur Orientierung dienen ferner die Winkel $T:l = 154° 3'$, $l:r = 154° 15'$, $r:M = 116° 18'$. Freilich sieht man, dass M gegen die benachbarten Flächen von T und r, sowie anderseits l gegen die anstoßenden Flächen der nämlichen Formen unter fast gleichen Winkeln geneigt ist. Nimmt man jedoch, wie unten des Näheren gezeigt werden soll, die Richtung der Kante $n:n$ (parallel $n:r$) und das optische Verhalten zu Hilfe, so ist es leicht, die genannten Formen zu erkennen resp. zu unterscheiden.

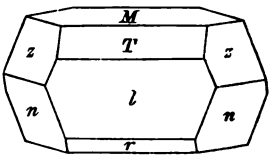


Fig. 267.

Nach der Basis ist eine vollkommene Spaltbarkeit vorhanden, nach T eine weniger vollkommene, aber immer noch deutliche. Die Spaltflächen nach M zeigen starken Glanz.

Die Krystalle des Epidots besitzen fast stets eine ungewöhnliche Ausbildung, indem sie nach der Orthodiagonale, also nach der Kante $M:T$, stark in die Länge gezogen und dabei mit einem Ende der so entstandenen Säulen aufgewachsen sind. Das freie Ende zeigt aber häufig nicht nur die in Fig. 267 wiedergegebenen

Formen n und z, sondern ist mit zahlreichen, prächtig spiegelnden Flächen versehen, oft förmlich mit Facetten überladen. In allen Sammlungen sind die überaus schönen, dunkelgrünen Epidote (Pistazit) von der Knappenwand im Untersulzbachthale in Salzburg vertreten, welche oft bedeutende Größe erreichen und sich zu prächtigen Drusen vereinigen. Diesem Vorkommen wollen wir denn auch eine etwas eingehendere Besprechung widmen.

Die erwähnten Krystalle finden sich auf den Klüften eines Epidotschiefers in Begleitung von Apatit, zum Teil umhüllt von milchweißem Adular und faserigen Aggregaten von graugrünem Asbest. Die Basis M und das Orthopinakoid T sind ausnahmslos an ihnen vorhanden. Selten fehlen die Flächen r, l und $i = +\frac{1}{2}P\infty$; weniger häufig sind die Hemidomen $-P\infty$, $+3P\infty$ und $+\frac{3}{4}P\infty$. Noch andere Hemidomen sind selten und gewöhnlich nur als schmale Streifen ausgebildet. Unter den Seitenflächen resp. Endflächen — die Krystalle sind ja mit einer Seite aufgewachsen — waltet die Hemipyramide n immer vor. Krystalle, welche neben M, T und den Hemidomen nur n zeigen, sind nicht gerade selten. Die beiden Flächen n stoßen unter einem Winkel von 109° 35′ zusammen. Die übrigen Endflächen sind im Verhältnis zu n meist klein. Besonders häufig sind die Klinodomen $P\infty(o)$ und $\frac{1}{2}P\infty$, ferner die Prismen ∞P und $\infty P2$ sowie die Hemipyramide — P. Das Klinopinakoid $\infty P\infty$ (b) erscheint als schmale Abstumpfung der Kante $n:n$.

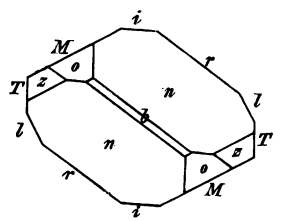


Fig. 268.

Eine verhältnismäßig einfache Kombination stellt Fig. 268 in der Richtung der Orthodiagonale, also in derjenigen der größten Ausdehnung der Krystalle gesehen, dar. Das Klinopinakoid b geht demnach der Ebene der Zeichnung parallel, während M, i, r, l und T darauf senkrecht stehen. Von den hier zwar nicht vertretenen, aber oben erwähnten Flächen würde $-P\infty$ die Kante $M:T$, $+3P\infty$ diejenige $l:T$ abstumpfen, während $\frac{1}{2}P\infty$ zwischen o und M, $-P$ zwischen z und M, und $\infty P2$ zwischen z und T auftreten würde. Oft ist von solchen Formen, deren beide Flächen der Orthodiagonale parallel gehen, nur je eine Fläche ausgebildet. Es ist zu beachten, dass Fig. 268 das frei entwickelte Ende einer Epidotsäule zur Anschauung

bringt, welche im Vergleich mit der in Fig. 267 wiedergegebenen Stellung mit dem linken Ende der Orthodiagonale aufgewachsen ist. Natürlich kommt es auch ebenso gut vor, dass die Krystalle mit dem entgegengesetzten (rechten) Ende auf dem Gestein aufsitzen.

Von besonderem Interesse ist nun die Orientierung mit Hilfe des schon S. 47 erwähnten ausgezeichneten Trichroismus dieses Vorkommens. Hält man eine Epidotnadel in vertikaler Stellung so vor das Auge, dass die stets leicht zu findende Kante $n:n$ gerade auf dasselbe zugerichtet ist, und sieht nun durch den Krystall resp. beobachtet das durchgehende Licht, so bemerkt man, dass derselbe auf der einen Seite — da wo die Strahlen aus *T* austreten — braungelb, auf der anderen Seite hingegen — da wo die Strahlen aus *M* austreten — grün erscheint. Man ist demnach im Stande, die Flächen *M* und *T* sofort zu unterscheiden. Hieran knüpft sich die Bestimmung des gegen *r* und *T* fast gleich geneigten Hemidomas *l* und des Protoprismas *z*; die Kanten $z:T$ und $T:M$ bilden auf *T* einen rechten Winkel. Allein man kann auch erkennen, ob der Krystall mit dem linken Ende (wie in Fig. 268) oder mit dem rechten aufgewachsen ist. Im ersteren Falle erscheint nämlich braungelb rechts, grün links, im zweiten Falle grün rechts, braungelb links. Dreht man den Krystall um die Längsrichtung, so dass man der Reihe nach senkrecht zu *T*, *l*, *r*, *i* und *M* hindurchsieht, so beobachtet man, wie braungelb durch braun in dunkelgrün übergeht. Blickt man durch ein Bruchstück desselben in der Richtung der Orthodiagonale, so nimmt man eine gelbgrüne Farbe wahr.

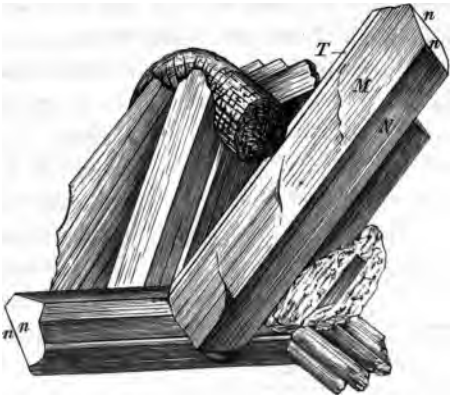


Fig. 269.

Nicht selten findet Zwillingsbildung statt nach dem Gesetze: »Zwillingsebene das Orthopinakoid«, und zwar wachsen die beiden Individuen sowohl aneinander als durcheinander; auch sind häufig in einen Krystall Zwillingslamellen eingeschaltet.

Die Krystalle von Sulzbach erreichen, wie schon bemerkt, oft ansehnliche Dimensionen. Manchmal erscheinen die Säulen gebogen oder zerbrochen. Im letzteren Falle sind die einzelnen Teile häufig durch Epidotsubstanz wieder verkittet. Eine Gruppe mit einem prächtigen, stark fingerlangen Krystall und einem gekrümmten giebt Fig. 269 S. 323 naturgetreu, wenn auch verkleinert, wieder. Der erstere weist die Flächen *M*, *T* und das Hemidoma $N = +\frac{3}{4}\breve{P}\infty$, sowie am Ende die Hemipyramide *n* auf; der gekrümmte Krystall besteht aus zahlreichen, nicht parallelen Teilen und ist von der Hauptkrümmungsstelle aus von vielen divergierenden Sprüngen durchsetzt.

Die Härte des Epidots beträgt 6—7, das spez. Gewicht 3,3 — 3,5. Er ist hell- bis dunkelgrün (Pistazit), seltener gelb, grau, rot oder schwarz, besitzt Glasglanz und ist durchsichtig bis kantendurchscheinend. Die optischen Achsen liegen in der Symmetrieebene. Er besteht aus kieselsaurer Thonerde und Eisenoxyd nebst kieselsaurem Kalk. Außer im Sulzbachthal findet er sich bei Zschopau in Sachsen, im Zillerthal in Tirol, bei Arendal in Norwegen, St. Marcel in Piemont, Achmatowsk im Ural und a. O.

2. Der **Harmotom** erscheint in Krystallen, welche ihrer Form nach dem rhombischen System einzuordnen wären, wenn nicht die optischen Verhältnisse auf das monokline System hindeuteten. Stets bilden sie Durchkreuzungszwillinge, indem zwei säulenförmige Individuen einander fast genau rechtwinklig durchwachsen. Von oben, d. i. in der Richtung der Säulen gesehen, erscheint ein solcher Zwilling gern wie ein regelmäßiges Kreuz (Fig. 270), weshalb der Harmotom auch Kreuzstein genannt wird. Bei rhombischer Aufstellung, welcher die Bezeichnung in Fig. 270 entspricht, ist die Form der einzelnen Krystalle zu deuten als Kombination von $\infty\bar{P}\infty$ und $\infty\breve{P}\infty$ (die rechtwinklige Säule bildend) mit *P*. Oft tritt noch das Brachydoma $\breve{P}\infty$, die beiden in der Figur nicht sichtbaren Polkanten der Grundpyramide abstumpfend, hinzu. Andere Formen werden nicht beobachtet. Die beiden Individuen durchwachsen einander nach dem Gesetze: »Zwillingsebene eine Fläche des Prismas $\infty P\alpha$, wobei der fast genau 90° betragende

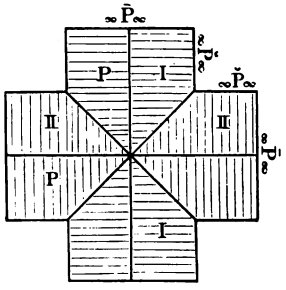


Fig. 270.

Prismenwinkel die ebenso annähernd senkrechte Stellung der Kreuzarme bewirkt. Die Flächen der Pyramide sind parallel ihrer Kombinationskante mit dem Makropinakoid gestreift. Von besonderem Interesse ist aber die vierfache, federförmige Streifung, welche man regelmäßig auf dem Makropinakoid beobachtet; sie verläuft parallel den Kombinationskanten mit den anstoßenden Pyramidenflächen und bewirkt bei regelmäßiger Ausbildung ein Zerfallen der gestreiften Fläche in vier Sektoren, von welchen je zwei gegenüberliegende in gleicher Richtung gestreift sind. Fig. 271, welche einen Harmotomkrystall in anderer (gleich zu erörternder) Stellung darstellt, zeigt diese federförmige Streifung auf *b* und das durch dieselbe bewirkte Zerfallen der Fläche in vier Sektoren. Stellt man sich einen Schliff parallel zu *b* her, welcher nur einer der beiden sich durchkreuzenden Säulen angehört, und betrachtet ihn zwischen gekreuzten Nicols im parallelen polarisierten Lichte, so findet man, dass seine Auslöschungsrichtungen nicht parallel und senkrecht zur Kante *b*:*c* liegen, wie man bei Annahme des rhombischen Systems erwarten müsste, sondern, dass sie mit dieser Kante einen Winkel von ungefähr 25° resp. 65° bilden. Doch löschen nicht alle vier Sektoren zu gleicher Zeit aus, sondern nur je zwei gegenüberliegende; die Auslöschungsrichtungen zweier benachbarter Sektoren bilden zwar mit der Kante *b*:*c* die nämlichen Winkel, liegen aber zu derselben entgegengesetzt, entsprechend der entgegengesetzten Streifung auf *b*. Bei der Untersuchung im konvergenten polarisierten Lichte findet man, dass jeder Sektor ein optisches Achsenbild liefert, wobei die Ebene der Achsen senkrecht zu *b* steht, und dass dieses Achsenbild gleich gerichtet ist in den gegenüberliegenden, und entgegengesetzt gerichtet in den anliegenden Sektoren. Da auch die Farben des Achsenbildes in einer Verteilung auftreten, welche nicht dem rhombischen System, wohl aber dem monoklinen entspricht, so hat man den Harmotom in dieses letztere System versetzt und seinen Krystallen folgende Deutung gegeben.

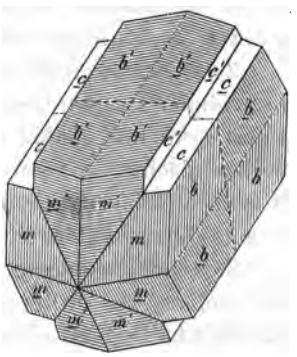


Fig. 271.

Jede der beiden sich durchkreuzenden Säulen ist zunächst selbst als ein Zwilling zu betrachten. Dabei gehören die Flächen

m dem Protoprisma ∞P, *b* dem Klinopinakoid $\infty \breve{P}\infty$ und *c* der Basis $0P$ an. Die Verwachsung folgt dem Gesetze: »Zwillingsebene die Basis« und die vierfache Streifung auf *b* zeigt, dass die beiden Individuen einander durchkreuzen. Das in der Figur mit einfachen Buchstaben bezeichnete Individuum besitzt die den monoklinen Krystallen gewöhnlich gegebene Stellung; die Prismenflächen sind parallel der Prismenkante, d. i. vertikal gestreift, auch das Klinopinakoid zeigt vertikale Streifung. Das mit unterstrichenen einfachen Buchstaben bezeichnete Individuum befindet sich zu dem ersteren in Zwillingsstellung nach dem genannten Gesetze.

Zwei derartige Zwillinge verwachsen nun wieder mit einander nach einem zweiten Gesetze: »Zwillingsebene eine Fläche des Klinodomas $\breve{P}\infty$« und bilden so einen Doppelzwilling. Hierbei stoßen die Basisflächen in vier einspringenden Kanten zusammen, während je zwei an einer solchen Kante benachbarte Flächen *m* annähernd in eine Ebene fallen.

Zuweilen, wenn auch selten, geht, wie wir wenigstens erwähnen wollen, die Zwillingsbildung noch weiter, indem drei der beschriebenen Doppelzwillinge sich rechtwinklig durchkreuzen. Dabei ist ∞P die Zwillingsebene je zweier Doppelzwillinge. Das ganze Gebilde ist also aus zwölf Individuen zusammengesetzt. Dehnen sich dann die Flächen *m* so weit aus, dass sie, indem die einspringenden Winkel verschwinden, den Zwölfling allein begrenzen, so gewinnt letzterer die Form eines regulären Rhombendodekaeders, ein schönes Beispiel für das in der Zwillingsbildung liegende Bestreben, die Symmetrie der Krystalle — wenigstens äußerlich — zu erhöhen.

Der Harmotom besitzt keine deutliche Spaltbarkeit; seine Härte beträgt 4,5, sein spez. Gewicht im Mittel 2,47. Er ist farblos, jedoch meist weiß, graulich, gelblich oder rötlich, durchsichtig bis schwach durchscheinend, glasglänzend. Wie der Apophyllit (S. 169) gehört er zu den aus wasserhaltigen kieselsauren Salzen bestehenden Mineralien, welche man als Zeolithe bezeichnet, weil sie die Eigenschaft haben, vor dem Lötrohr unter Aufschäumen (ζέω, siede) zu schmelzen. Man kann den Harmotom als eine isomorphe Mischung von drei Molekülen der Verbindung $BaAl_2Si_6O_{16} \cdot 6\,H_2O$ mit einem Molekül der Verbindung $Ba_2Al_4Si_4O_{16} \cdot 6\,H_2O$ betrachten, jedoch ist stets ein kleiner Teil des Baryums durch Kalium, Natrium und Calcium vertreten. Von Salzsäure wird er unter Abscheidung

von Kieselsäure vollständig zersetzt. Er findet sich auf Erzgängen mit Zinkblende, Bleiglanz, Quarz und Schwerspat bei Andreasberg am Harz, Kongsberg in Norwegen, Strontian in Schottland, in Hohlräumen des Mandelsteins bei Oberstein und a. a. O.

Dem Harmotom in krystallographischer Beziehung vollkommen gleich, mit ihm isomorph, ist der Phillipsit, auch Kalkharmotom genannt, welcher statt des Baryums Calcium enthält. Er findet sich in Hohlräumen des Basalts und ähnlicher vulkanischer Felsarten (am Stempel bei Marburg, bei Annerode bei Gießen, Sasbach am Kaiserstuhl, Capo di Bove bei Rom).

Harmotom und Phillipsit sind, wie die Zeolithe überhaupt, als Umwandlungsprodukte anderer Mineralien, namentlich von Orthoklas und Plagioklas (s. folgendes Kapitel) aufzufassen. Bei ihrer Entstehung hat das Wasser eine hervorragende Rolle gespielt. Nach ihrer chemischen Formel erscheinen manche Zeolithe geradezu als eine Verbindung eines Plagioklases mit Wasser. Letzteres (resp. dessen Wasserstoff und Sauerstoff) ist jedoch ganz oder zum Teil innig gebunden, so dass man die Zeolithe vielmehr als saure Salze betrachten muss, in welchen ein Teil des Wasserstoffs der Kieselsäure noch vorhanden ist. Anderseits ist aber auch oft ein Teil des Wassers als Krystallwasser zu bezeichnen. Die krystallwasserhaltigen Zeolithe verlieren in trockener Luft und beim Erwärmen oft bedeutende Mengen von Wasser, welches sie aus feuchter Luft wieder anziehen.

3. **Rohrzucker.** Derselbe gehört zu derjenigen Klasse organischer Verbindungen, welche man Kohlenhydrate nennt, weil in ihnen neben Kohlenstoff die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältnisse enthalten sind, wie sie Wasser bilden, d. h. auf 2 Atome Wasserstoff 1 Atom Sauerstoff. Der Name »Kohlenhydrate« soll jedoch keineswegs ausdrücken, dass diese Substanzen als Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasser aufzufassen seien. Der Rohrzucker besitzt die Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$. Er findet sich gelöst im Safte vieler Pflanzen, namentlich im Zuckerrohr und in der Zuckerrübe, aus welchen er fabrikmäßig gewonnen wird. Aus dem gereinigten und durch Eindampfen konzentrierten Safte erhält man die unter dem Namen »Kandiszucker« bekannten großen und klaren Krystalle, indem man den heißen Saft in kupfernen Gefäßen, welche in einem geheizten Raume aufgestellt sind, sehr langsam erkalten lässt. Die Krystallisiergefäße sind von Bindfäden durchzogen, an

welche sich die allmählich wachsenden Krystalle ansetzen. Letztere sind wenig flächenreich und leicht zu deuten. Der vordere (scharfe) Winkel des Protoprismas p (Fig. 272) ist stets durch das Orthopinakoid a gerade abgestumpft. Oft ist a so stark ausgedehnt, dass die Krystalle tafelartig werden. Der seitliche Prismenwinkel beträgt 101° 30′. Die Basis c bildet mit a einen Winkel von 103° 30′, das Hemidoma $r = +\breve{P}\infty$ damit einen solchen von 115° 30′. Nicht selten erscheint die Kante $a:c$ abgestumpft durch ein negatives Hemidoma $-\breve{P}\infty$. Von besonderem Interesse ist das Auftreten des Klinodomas $q = \breve{P}\infty$ und der Hemipyramide $o = -P$, deren Flächen gewöhnlich nur an einer Seite der Krystalle erscheinen, während sie an der anderen fehlen. Hieraus folgt, dass die Krystalle des Rohrzuckers hemimorph sind, wobei, wie es ja im monoklinen System allein möglich ist, die Orthodiagonale die Achse der Hemimorphie bildet. Das Vorhandensein der Hemimorphie giebt sich auch noch in anderen Erscheinungen kund. Ätzt man einen Krystall einen Augenblick mit kaltem Wasser und trocknet ihn schnell mit einem weichen Tuche ab, so kann man mit der Lupe bemerken, dass die Prismenflächen der rechten Seite anders gestaltete Ätzfiguren tragen, als die der linken. Auch wird der Rohrzucker beim Erwärmen resp. Abkühlen polar-thermoelektrisch, d. h. er zeigt an einem Ende der Achse b positive, am anderen negative Elektrizität.

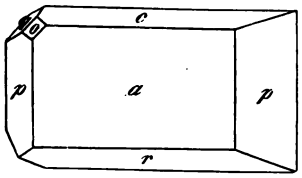


Fig. 272.

In neuester Zeit beobachtete L. Wulff Zuckerkrystalle, welche sich dadurch auszeichneten, dass das Klinodoma $q = \breve{P}\infty$ nur mit einer Fläche ausgebildet war. Dies würde, falls man in Zukunft häufiger eine solche Ausbildung anträfe, dahin führen, den Zucker als tetartoedrisch zu betrachten.

Häufig findet Zwillingsbildung statt. Das Gesetz, welchem dieselbe folgt, lässt sich am einfachsten so ausdrücken: »das eine Individuum ist gegen das andere um die Senkrechte zu $\infty\breve{P}\infty$ um 180° gedreht«. Die beiden Krystalle verwachsen dann mit der seitlichen Prismenkante resp. mit dem Klinopinakoid, und zwar entweder so, dass sie einander das mit q und o behaftete oder das davon freie Ende zukehren, so dass der Zwilling zu beiden Seiten von denselben Flächen begrenzt wird. Durch die Zwillingsbildung

wird also die Hemimorphie gewissermaßen wieder aufgehoben, ähnlich wie es bei den Zwillingen des Kieselzinkerzes der Fall ist. Wäre der Rohrzucker nicht hemimorph, so würden die Zwillinge einfach nach dem im monoklinen System so häufigen Gesetze: »Zwillingsebene das Orthopinakoid« zu deuten sein.

Nach dem Orthopinakoid ist eine deutliche Spaltbarkeit vorhanden. Die optischen Achsen liegen in der Symmetrieebene, und die optische Mittellinie bildet im stumpfen Winkel der Achsen *a* und *c* mit letzterer einen Winkel von ungefähr 68°.

Der Rohrzucker löst sich bekanntlich leicht in Wasser, schwierig hingegen in Alkohol. Die Lösung besitzt die Eigenschaft, die Schwingungsrichtung des polarisierten Lichtes nach rechts zu drehen, sie verhält sich also wie ein rechter Quarzkrystall. Lässt man polarisiertes Licht durch eine mit Zuckerlösung gefüllte Glasröhre gehen, so kann man aus der Größe der Drehung auf den prozentischen Zuckergehalt schließen, was für die Rübenzuckerfabrikation von praktischer Bedeutung ist. Der feste Rohrzucker ist nicht circularpolarisierend. Der Zucker schmilzt bei 160° und erstarrt beim Erkalten zu durchsichtigem sogen. Gerstenzucker, welcher amorph ist. Doch wird letzterer allmählich wieder undurchsichtig und krystallinisch, er verwandelt sich in eine strahlige und bröcklige Masse, wobei die Strahlen resp. Krystallfasern von außen nach innen fortschreiten.

teren vorn unten und hinten oben. Die Flächen eines rechten brachydiagonalen Hemidomas treten rechts oben und links unten, die eines linken links oben und rechts unten auf. Die beiden Striche in den Symbolen deuten auch hier wieder an, dass die genannten Formen die Grenzformen je zweier Tetartopyramiden zugleich sind.

Die drei Pinakoide sind die Basis $0P$, welche von dem Protoprisma begrenzt nicht mehr, wie im monoklinen System, die Gestalt eines Rhombus, sondern eines Rhomboids (ungleichseitigen Parallelogramms mit schiefwinklig sich schneidenden Diagonalen) besitzt, ferner das Makropinakoid $\infty\bar{P}\infty$ und das Brachypinakoid $\infty\breve{P}\infty$.

Als erstes Beispiel einer triklin krystallisierenden Substanz besprechen wir den

1. **Kupfervitriol.** Dieses bekannte, schön blau gefärbte Salz (blauer Vitriol) besteht aus schwefelsaurem Kupferoxyd mit fünf Molekülen Krystallwasser $CuSO_4 + 5H_2O$. In der Natur bildet es sich hauptsächlich durch Verwitterung von Kupferkies und findet sich dann gelöst im Grubenwasser der Bergwerke oder in tropfsteinartigen, nierenförmigen Massen, selten in deutlichen Krystallen. Doch kann man leicht schöne Krystalle durch Verdunstenlassen seiner Lösungen erhalten. Dieselben erscheinen keilförmig scharfkantig, oft flächenreich und zeigen mannigfaltige Kombinationen. Eine derselben stellt Fig. 274 dar. Man wählt die Fläche a zum Makropinakoid $\infty\bar{P}\infty$, b zum Brachypinakoid $\infty\breve{P}\infty$, c zur Basis $0P$, sowie o zur Grundpyramide resp. rechten unteren Tetartopyramide $P_,$. Dann erhalten die übrigen Flächen folgende Symbole: $p = \infty P,'$, $p' = \infty,'P$, $q = ,\breve{P}'\infty$, $q' = '\breve{P},\infty$, $q'' = 2'\breve{P},\infty$, $o' = 3\breve{P},3$. Bei der hier gewählten Stellung und Bezeichnung geht die Vertikalachse parallel der Kante $a:p$, die Brachydiagonale parallel der Kante $q':c$, während die Makrodiagonale die Richtung derjenigen Kante besitzt, welche entstehen würde, wenn sich die beiden Flächen a und c schnitten. Das Achsenverhältnis $a:b:c$ ist $= 0{,}5655 : 1 : 0{,}5506$, und es sind die Achsenwinkel $\alpha = 97^\circ\,39'$, $\beta = 106^\circ\,50'$, $\gamma = 77^\circ\,37'$ (vergl.

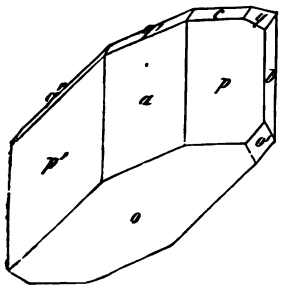


Fig. 274.

Nach dem Gesagten zerfällt jede, nur scheinbar einfache, trikline Pyramide, wie die in Fig. 273 dargestellte, in vier verschiedene Flächenpaare, welche man Tetartopyramiden (Viertelpyramiden) nennt. Man unterscheidet dieselben nach der Lage ihrer vier vorderen Flächen als rechte obere P' $(a:b:c)$, linke obere $'P$ $(a:b':c)$, rechte untere $P,$ $(a:b:c')$ und linke untere $,P$ $(a:b':c')$. Diese vier Formen sind hinsichtlich ihres Vorkommens an Krystallen durchaus unabhängig von einander, und nur die getroffene Wahl der Achsen ist die Ursache, warum ihre Flächen die drei Achsen sämtlich in der gleichen (einfachen) Entfernung vom Achsenmittelpunkte schneiden, sich deshalb zu einer vollständigen triklinen Pyramide ergänzen können.

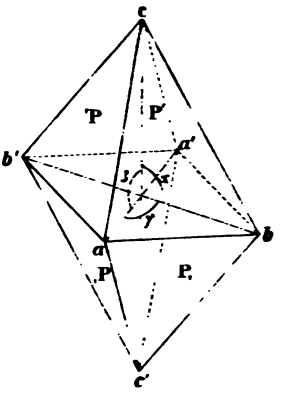


Fig. 273.

Von der zusammengesetzten Grundform $,'P,'$ leitet man genau so, wie es im rhombischen System geschieht, die übrigen Protopyramiden $m,'P,'$, ferner die Makropyramiden $m,'\bar{P}',n$ und die Brachypyramiden $m,'\breve{P},'n$ ab, welche sämtlich in je vier von einander unabhängige Tetartopyramiden zerfallen.

Wird der auf die Vertikalachse bezügliche Koeffizient $m = \infty$, so gehen die Protopyramiden in das vertikale Protoprisma über, welches aus zwei Hemiprismen, einem rechten $\infty P,'$ und einem linken $\infty,'P$ besteht. Ebenso liefern die Makro- und Brachypyramiden je zwei vertikale Hemiprismen mit den Zeichen $\infty\bar{P},'n$, $\infty,'\bar{P}n$ und $\infty\breve{P},'n$, $\infty,'\breve{P}n$, welche den Namen Makro- und Brachyprismen erhalten. Die beiden Striche rechts oder links von P deuten an, dass die Hemiprismen Grenzformen zweier Tetartopyramiden, je einer oberen und einer unteren, zugleich sind, indem beide für $m = \infty$ dieselbe prismatische Form liefern.

Wird in den Symbolen der Makro- und Brachypyramiden der auf die Makro- resp. Brachydiagonale bezügliche Koeffizient $n = \infty$, so gelangt man zu den Makro- und Brachydomen. Erstere zerfallen in zwei Hemidomen, ein oberes $m'\bar{P}'\infty$ und ein unteres $m,\bar{P},\infty$, letztere gleichfalls in zwei, ein rechtes $m,\breve{P}'\infty$ und ein linkes $m'\breve{P},\infty$. Die Flächen eines oberen makrodiagonalen Hemidomas liegen vorn oben und hinten unten, die eines un-

teren vorn unten und hinten oben. Die Flächen eines rechten brachydiagonalen Hemidomas treten rechts oben und links unten, die eines linken links oben und rechts unten auf. Die beiden Striche in den Symbolen deuten auch hier wieder an, dass die genannten Formen die Grenzformen je zweier Tetartopyramiden zugleich sind.

Die drei Pinakoide sind die Basis $0P$, welche von dem Protoprisma begrenzt nicht mehr, wie im monoklinen System, die Gestalt eines Rhombus, sondern eines Rhomboids (ungleichseitigen Parallelogramms mit schiefwinklig sich schneidenden Diagonalen) besitzt, ferner das Makropinakoid $\infty\bar{P}\infty$ und das Brachypinakoid $\infty\breve{P}\infty$.

Als erstes Beispiel einer triklin krystallisierenden Substanz besprechen wir den

1. **Kupfervitriol.** Dieses bekannte, schön blau gefärbte Salz (blauer Vitriol) besteht aus schwefelsaurem Kupferoxyd mit fünf Molekülen Krystallwasser $CuSO_4 + 5H_2O$. In der Natur bildet es sich hauptsächlich durch Verwitterung von Kupferkies und findet sich dann gelöst im Grubenwasser der Bergwerke oder in tropfsteinartigen, nierenförmigen Massen, selten in deutlichen Krystallen. Doch kann man leicht schöne Krystalle durch Verdunstenlassen seiner Lösungen erhalten. Dieselben erscheinen keilförmig scharfkantig, oft flächenreich und zeigen mannigfaltige Kombinationen. Eine derselben stellt Fig. 274 dar. Man wählt die Fläche a zum Makropinakoid $\infty\bar{P}\infty$, b zum Brachypinakoid $\infty\breve{P}\infty$, c zur Basis $0P$, sowie o zur Grundpyramide resp. rechten unteren Tetartopyramide $P_,$. Dann erhalten die übrigen Flächen folgende Symbole: $p = \infty P,'$, $p' = \infty,'P$, $q = ,\breve{P}'\infty$, $q' = '\breve{P},\infty$, $q'' = 2'\breve{P},\infty$, $o' = 3\breve{P},3$. Bei der hier gewählten Stellung und Bezeichnung geht die Vertikalachse parallel der Kante $a:p$, die Brachydiagonale parallel der Kante $q':c$, während die Makrodiagonale die Richtung derjenigen Kante besitzt, welche entstehen würde, wenn sich die beiden Flächen a und c schnitten. Das Achsenverhältnis $a:b:c$ ist $= 0{,}5655 : 1 : 0{,}5506$, und es sind die Achsenwinkel $\alpha = 97^\circ\,39'$, $\beta = 106^\circ\,50'$, $\gamma = 77^\circ\,37'$ (vergl.

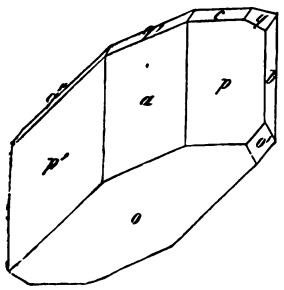


Fig. 274.

Fig. 273). Die Flächen b, q, c, q' und q'' liegen in einer Zone (sie schneiden sich in parallelen Kanten), desgleichen b, p, a und p'.

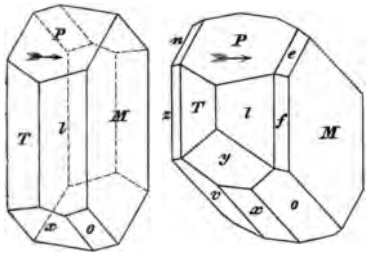
Bei der Deutung der Krystalle geht man am besten von der letzteren Zone, der Prismenzone, aus. Darin erkennt man p leicht daran, dass die Kanten $o:p$ und $a:p$ fast genau auf einander senkrecht stehen. p ist zu a unter 149° 7′, zu b unter 110° 10′, sowie a zu p' unter 154° 3′ geneigt. Nicht zu verkennen ist die stark ausgedehnte Tetartopyramide o, während c, q', q'' und o' durch je zwei Zonen bestimmt sind. — Zwillingskrystalle sind nicht bekannt. Die Krystalle zeigen keine deutliche Spaltbarkeit, ihr Bruch ist muschelig; die Härte beträgt 2,5, das spez. Gewicht 2,2. Beim Erhitzen verlieren sie das Krystallwasser und zerfallen schließlich zu einem weißen Pulver. Erhitzt man vorsichtig, so zeigt sich der Beginn des Wasserverlustes (der Verwitterung) in der Art, dass auf den verschiedenen Flächen einzelne, unregelmäßig verteilte weiße Pünktchen oder Flecken auftreten, welche sich allmählich vergrößern. Der Umriss derselben ist krummlinig und stellt annähernd eine Ellipse dar, deren Form mit der Lage der betreffenden Fläche wechselt. Diese Ellipsen lassen erkennen, wie die Verwitterung von einem Punkte aus nach verschiedenen Richtungen mit verschiedener Geschwindigkeit fortschreitet. Man hat sie auch als Verstäubungsfiguren bezeichnet. Solche Figuren lassen sich an vielen krystallwasserhaltigen Salzen künstlich hervorrufen. Ihre Form und Lage stimmt in jedem Falle mit der Symmetrie der sie tragenden Krystallfläche überein.

Die Krystalle des triklinen Systems sind optisch zweiachsig, indes geht die Ebene der optischen Achsen keiner möglichen Krystallfläche parallel, ist vielmehr eine gänzlich unregelmäßige. Eine Platte, sie möge, von welchem Paar paralleler Flächen es auch sei, gebildet werden, zeigt stets Auslöschungsrichtungen, welche gegen die begrenzenden Kanten schief gelegen sind. Auch in Bezug auf die übrigen physikalischen Eigenschaften, z. B. die Ätzfiguren, zeigen die Krystalle dieses Systems den höchsten Grad von Unregelmäßigkeit, welchen ein homogener krystallisierter Körper überhaupt haben kann.

2. **Albit** (Plagioklase). Der Albit steht sowohl in chemischer wie in krystallographischer Hinsicht zum Orthoklas in einer nahen Beziehung. Er ist nach der Formel $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ zusammen-

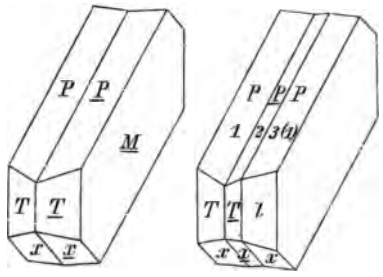
gesetzt, enthält also statt des Kaliums im Orthoklas Natrium und wird deshalb auch Natronfeldspat genannt. Auch seine Formen und Winkel zeigen eine auffallende Annäherung an diejenigen des Orthoklases, obgleich beide Mineralien verschiedenen Systemen angehören. Es ist daher für denjenigen, welcher sich schon mit den Krystallen des Kalifeldspats vertraut gemacht hat, nicht schwer, auch diejenigen des Albits zu entziffern.

Die Albitkrystalle sind gewöhnlich weiß — daher der Name — oder auch farblos und wasserhell, meist kleiner als diejenigen des Orthoklases und erscheinen in der Regel tafelförmig durch Vorherrschen von $\infty\breve{P}\infty$ oder kurz säulenförmig in der Richtung der Vertikalachse. Zwei häufige Kombinationen sind in Fig. 275 a und b wiedergegeben. Das vertikale Protoprisma mit dem vorderen stumpfen Winkel von 120° 47′ (beim Orthoklas 118° 47′) zerfällt in die



a b

Fig. 275.



a b

Fig. 276.

beiden Hemiprismen $T = \infty,'P$ und $l = \infty P,'$. Die seitliche Kante $T{:}l$ ist stets durch $M = \infty\breve{P}\infty$ abgestumpft, doch ist diese Abstumpfung, entsprechend der Unsymmetrie im triklinen System, keine gerade, sondern eine schiefe; der Winkel $T{:}M$ beträgt 119° 40′, der Winkel $l{:}M$ 119° 33′. Man sieht indes, wie gering die Abweichung von dem vom monoklinen System geforderten Verhältnisse ist. Auf das Prisma schief aufgesetzt erscheint vorn oben die Basis $P = 0P$, welche nun auch mit M keinen rechten Winkel mehr bildet, sondern bei der in der Figur gewählten Aufstellung rechts einen stumpfen von 93° 36′, links einen spitzen von 86° 24′. Die Basis neigt sich also hier (wie auch der Pfeil andeutet) von links oben nach rechts unten, und man ist darin übereingekommen, den Albitkrystallen stets diese Stellung zu geben. Außer den

genannten Flächen finden wir noch $x = ,\bar{P},\infty$ und $o = P,$. P uud x treffen unter einem Winkel von 127° 43′ zusammen. Die zweite, flächenreichere Kombination Fig. 275b weist ferner noch auf: $y = 2,\bar{P},\infty$, $v = ,P$, $z = \infty,'\breve{P}3$, $f = \infty\breve{P},'3$, $n = 2'\breve{P},\infty$ und $e = 2,\breve{P}'\infty$.

Die Formen P, M, x und y entsprechen den ebenso bezeichneten des Orthoklases, während T und l zusammen mit T, o und v mit o, z und f mit z, sowie n und e mit n desselben korrespondieren. Der Basis geht eine vollkommene, dem Brachypinakoid eine deutliche Spaltbarkeit parallel. Diejenige nach $0P$ verrät sich durch den Perlmutterglanz auf dieser Fläche und durch häufige geradlinige Risse, welche parallel der Kante $P{:}M$ auf M erscheinen.

Die Vertikalachse c geht natürlich der Prismenkante $T{:}l$, die Makrodiagonale b der Kante $P{:}x$, die Brachydiagonale a der Kante $P{:}M$ parallel. Das Achsenverhältnis $a : b : c$ ist $= 0{,}6333 : 1 : 0{,}5575$, und es sind die Achsenwinkel $\alpha = 94° 4'$, $\beta = 116° 28'$, $\gamma = 88° 8'$. Es sei jedoch bemerkt, dass bei verschiedenen Albitvorkommen die Winkel manchmal ziemliche Unterschiede aufweisen, was bei der Berechnung auch zu etwas abweichenden Achsenverhältnissen führt.

Zwillingsbildung nach verschiedenen, mehr oder weniger häufigen Gesetzen ist beim Albit so gewöhnlich, dass einfache Krystalle zu den Seltenheiten gehören. Wir beginnen mit dem häufigsten Falle.

Denkt man sich einen Albitkrystall, welcher etwa die Flächen P, M, T, l und x zeige, durch eine Ebene parallel M halbiert, wobei diese Ebene durch die vordere und hintere Kante $T{:}l$ geht, und nun die rechte Hälfte gegen die linke um die Senkrechte zu M um 180° gedreht, so erhält man den Zwilling Fig. 276a. Die beiden Hälften, resp. die beiden Individuen, befinden sich nun nach der Berührungsfläche in symmetrischer Stellung, das Zwillingsgesetz heißt also: »Zwillingsebene ist das Brachypinakoid«. Die beiderseitigen Flächen P und x bilden oben je einen sehr stumpfen einspringenden Winkel ($P{:}\underline{P} = 172° 48'$, $x{:}\underline{x} = 172° 42'$), unten je einen ebenso großen ausspringenden. Hätte man ursprünglich statt der rechten die linke Hälfte um 180° gedreht, so würde man oben aus- und unten einspringende Winkel erhalten. Vorn stoßen nun die beiden Flächen T, hinten die beiden l zusammen. Der Krystall Fig. 277b besteht aus drei Teilen, ohne indes ein eigentlicher

Drilling zu sein. Das rechte Individuum von *a* ist hier gleichsam wieder durch eine Ebene parallel *M* in zwei ungleiche Teile geteilt und der rechte Teil gegen den linken um 180° gedreht. Die beiden Zwillingsebenen gehen parallel, und das scheinbar dritte Individuum ist im Grunde genommen nichts anderes als die Fortsetzung des ersten. Die Zwillingsbildung ist nur eine wiederholte, wie denn im triklinen System, wo jede Form nur aus zwei parallelen Flächen besteht, eine mehrfache Zwillingsbildung mit geneigten Zwillingsebenen nach dem nämlichen Gesetze überhaupt nicht möglich ist. Man kann auch sagen, in das Individuum 1 sei eine Platte oder Lamelle von 2 nach dem erwähnten Zwillingsgesetze eingeschaltet. Solche wiederholte Zwillingsbildung ist beim Albit eine ganz gewöhnliche und charakteristische Erscheinung. Die eingeschalteten Lamellen, deren Zahl oft eine sehr beträchtliche ist, sind häufig außerordentlich dünn; ihre Gegenwart verrät sich durch eine feine Streifung auf *P* parallel der Kante *P*:*M*, auch bemerkt man beim Spiegelnlassen von *P* das abwechselnde Erglänzen der schmalen Flächenstreifen beider Individuen.

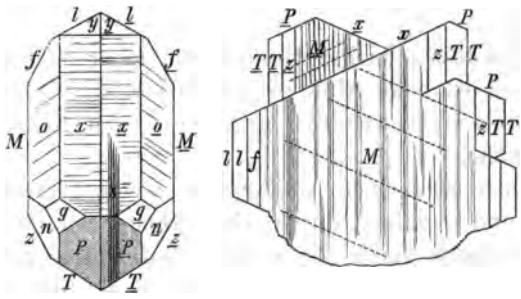


Fig. 277.

Einen hübschen Zwilling dieser Art von Schmirn (Tirol) zeigt Fig. 277a, und zwar gesehen in der Richtung der Vertikalachse. Derselbe besteht zunächst aus zwei sehr gleichmäßig entwickelten Teilen resp. Individuen; dem rechten ist dann noch bei *s* eine Anzahl feiner Lamellen, entsprechend dem linken Individuum, eingeschaltet. Diese Lamellen gehen jedoch nicht durch den ganzen Krystall, sondern brechen etwa in dessen Mitte ab. Die auftretenden Flächen wurden schon oben erwähnt, mit Ausnahme der häufig

erscheinenden Tetartopyramide $g = \frac{1}{2}P$, welche die Kante $P:o$ abstumpft. Charakteristisch ist eine feine Streifung auf P parallel der Kante $P:l$ (nicht $P:T$) resp. $P:g$; x zeigt eine gröbere Streifung nach der Kante $x:P$ resp. $x:y$, o mehr vereinzelte Streifen parallel $o:g$. Die Flächen P und $\underline{P}$, desgleichen x und $\underline{x}$ bilden hier einspringende Winkel.

Häufig verwachsen nun zwei derartige Zwillinge mit einander zu einem Doppelzwilling, indem sie sich mit M in entgegengesetzter Stellung so aneinander legen, dass ihre Vertikalachsen parallel bleiben. Dieses zweite Zwillingsgesetz kann man so aussprechen: »das eine Individuum (resp. der eine Zwilling) ist gegen das andere (den anderen Zwilling) um 180° um die Vertikalachse gedreht«.

Derartige Doppelzwillinge finden sich gleichfalls sehr schön bei Schmirn. Fig. 277b giebt einen solchen in der Stellung wieder, dass die stark vertikal gestreifte Fläche M der Ebene der Zeichnung parallel geht. Die beiden Krystalle, von welchen also — was freilich aus der Figur nicht zu ersehen — jeder wieder ein Zwilling nach dem ersten Gesetze ist, liegen übereinander; von dem unteren, dessen Flächenbezeichnung unterstrichen ist, ragt nur ein verhältnismäßig kleiner Teil hervor. Der obere zeigt rechts treppenförmige Fortwachsungen, eine Erscheinung, welche bei solchen Albiten sehr häufig zu beobachten ist. Die auf M und $\underline{M}$ entgegengesetzt gerichteten punktierten Linien deuten Spaltungsrisse an, welche der Kante $M:P$ parallel gehen und der vollkommenen Spaltbarkeit nach der Basis entsprechen. Sind P und x annähernd gleich groß entwickelt, was oft der Fall ist, so fällt die zweifache Zusammensetzung der Krystalle nicht so sehr in die Augen; die auf beiden Seiten des Doppelzwillings entgegengesetzt verlaufenden Spaltungsrisse lassen dann aber sogleich das Richtige erkennen.

Diese zweite Art der Zwillingsbildung beim Albit ist ganz analog derjenigen nach dem Karlsbader Gesetze beim Orthoklas (vergl. Fig. 254).

Als eine besondere Varietät des Albits bezeichnet man den Periklin, dessen weiße, trübe und nur kantendurchscheinende Krystalle sich durch die Eigentümlichkeit auszeichnen, dass sie nach der Richtung der Makrodiagonale (resp. der Kante $P:x$) gestreckt sind, wodurch P und x vorwalten. Am Periklin beobachtet man nun ein drittes Zwillingsgesetz, welches lautet: »das eine Individuum ist gegen das andere um die Makrodiagonale um 180°

gedreht«. Die beiden Individuen verwachsen in dieser Stellung in der Weise, dass sich das eine mit seiner unteren Basis auf die obere Basis des anderen legt, während die beiderseitigen Flächen *M* einen stumpfen ein- resp. ausspringenden Winkel bilden. Es würde uns jedoch zu weit führen, auf diese, wenn auch sehr interessante Zwillingsverwachsung des Näheren einzugehen.

Eine kurze Besprechung verdient noch die Erscheinung, dass manchmal Krystalle von Albit mit solchen von Orthoklas in möglichst paralleler Stellung verwachsen, und zwar sitzen oft Albitkrystalle und Zwillinge (nach *M*) auf Krystallen von Orthoklas, während indes auch das Umgekehrte vorkommt.

Besonders bekannte Fundorte der ersteren Verwachsung sind Hirschberg und Striegau in Schlesien. Daselbst sieht man auf den vertikalen Flächen großer Orthoklaskrystalle, namentlich auf ∞P, kleine wasserhelle Albite in regelmäßiger Stellung. Dabei gehen die Vertikalachsen beider Mineralien parallel, und die Albite liegen mit einer Fläche *T* ($\infty,'P$) auf einer ebenso bezeichneten des Orthoklases, während die Basisflächen beider wenigstens annähernd parallel gehen. Hierdurch ist bedingt, dass die Albite, welche auf der rechten Prismenfläche des Orthoklases aufgelagert sind, sich zu den auf der linken Prismenfläche aufgelagerten in Zwillingsstellung nach *M* befinden (vergl. die beiden Hälften des Zwillings Fig. 276a). Treffen nun zwei solche Individuen in der vorderen Prismenkante des Orthoklaskrystalls zusammen, so verwachsen sie zu einem regelmäßigen Zwilling, welcher sich oft vor den beiderseitig aufgelagerten einzelnen Individuen durch bedeutendere Größe auszeichnet. Die Beobachtung dieser Verhältnisse gewährt ein besonderes Interesse. Zuweilen wachsen auch sämtliche Albite zusammen und bilden eine den Orthoklas umhüllende Schicht, wobei indes die Flächen *P* und *x* des letzteren von Albit frei bleiben.

Anderseits kommen im Untersulzbachthale Albitzwillinge vor, welche beiderseitig mit *M* angewachsene Krystalle von Adular tragen.

Die Härte des Albits beträgt 6—6,5, das spez. Gewicht 2,62. Hinsichtlich der auf der Basis zu erhaltenden unsymmetrischen Ätzfiguren vergl. S. 33 und Fig. 20. Wie schon bemerkt, ist der Albit meist farblos oder weiß, doch kommt auch eine rötliche, grünliche, gelbliche oder braune Färbung vor. Von größerem Interesse als die Lage der optischen Achsen ist für uns diejenige der Auslöschungsrichtungen auf Spaltungsplatten nach *P* oder *M*. An

solchen nach *P* beobachtet man keine Auslöschung parallel zur Kante *P*:*M* (wie beim monoklinen Orthoklas), sondern eine solche, die mit derselben einen Winkel von ca. 4° bildet schiefe Auslöschung). Die zweite Auslöschung schließt also mit dieser Kante einen Winkel von ca. 86° ein. Auf Spaltungsplatten nach *M* liegen die Auslöschungsrichtungen unter 19° resp. 71° gegen die Kante *M*:*P* geneigt.

In einer Spaltungsplatte nach der Basis, welche einem Zwilling der gewöhnlichsten Art (Zwillingsebene *M*) entnommen ist, bilden nach dem Gesagten die beiderseitigen Auslöschungsrichtungen mit einander einen Winkel von 8° resp. 172°. Die Gegenwart von Zwillingslamellen giebt sich daher in einer solchen Platte auch dadurch zu erkennen, dass dieselben nicht gleichzeitig mit ihrer Umgebung auslöschen.

Außer den schon genannten Fundorten seien noch erwähnt: Penig in Sachsen, Zöptau in Mähren, St. Gotthard, Pfitschthal in Tirol, Elba.

Der Albit ist das Anfangsglied einer ganzen Reihe von Feldspatarten oder Varietäten, welche sämtlich im Gegensatz zum Orthoklas im triklinen System krystallisieren und unter einander als isomorph zu betrachten sind. Da bei ihnen die Spaltungsrichtungen *P* und *M*, dem triklinen System gemäß, stets schiefwinklig zu einander stehen, so bezeichnet man sie insgesamt als Plagioklase (πλάγιος, schief). Das Endglied der Reihe bildet der Anorthit oder Kalkfeldspat. Derselbe ist im reinsten Zustande frei von Natrium und enthält statt dessen Calcium. Indes entspricht seine Formel $Ca_2Al_4Si_4O_{16}$ nicht genau derjenigen des Albits $Na_2Al_2Si_6O_{16}$; man kann beide jedoch mit einander vergleichen, wenn man sich in letzterer Na_2Si_2 durch Ca_2Al_2 (beides zusammen zehnwertig) ersetzt denkt. Die Krystalle des Anorthits zeigen mannigfaltige, im allgemeinen denen des Albits und Periklins ähnliche Kombinationen, sind kurzsäulen- oder tafelförmig, farblos und wasserhell bis weiß, und erscheinen aufgewachsen und in Drusen. Sehr gewöhnlich ist bei ihnen, wie bei allen Plagioklasen, Zwillingsbildung nach *M*. Doch finden sich einfache Krystalle häufiger wie beim Albit.

Die Auslöschungsrichtungen auf der Basis bilden hier mit der

Kante $P:M$ Winkel von 37° und 53°, doch weichen sie von der genannten Kante im entgegengesetzten Sinne ab, wie beim Albit.

Der Anorthit findet sich in den Auswürflingen des Vesuv, an der Pesmeda-Alp am Monzoni in Tirol, in der Lava des Hekla und a. a. O.

Zwischen Albit und Anorthit steht nun eine Anzahl von Feldspaten, welche als isomorphe Mischungen von beiden zu betrachten sind und je nach dem Vorwalten der Albit- oder Anorthitsubstanz als Kalknatron- oder Natronkalkfeldspate bezeichnet werden. Der wichtigste Kalknatronfeldspat, bestehend aus etwa drei Molekülen Albit und einem Molekül Anorthit, ist der Oligoklas (Bodenmais, Arendal, Finnland, Pennsylvanien; als Gemengteil häufig im Granit, Gneiß, Porphyr, Diorit und in anderen Gesteinen), der wichtigste Natronkalkfeldspat, bestehend aus etwa einem Molekül Albit und drei Molekülen Anorthit, ist der Labradorit (Küste von Labrador, Ingermanland; als Gemengteil in vielen Gesteinen, wie im Gabbro, Dolerit). Manche Varietäten des Labradorits zeigen auf den Spaltungsflächen nach $\infty\breve{P}\infty$ einen schönen bunten Farbenschiller.

Die Krystalle von Oligoklas sind entweder ähnlich denjenigen des Periklins oder säulenförmig nach der Vertikalachse. Aufgewachsene Krystalle sind im allgemeinen nicht häufig. Die Labradoritkrystalle sind fast immer eingewachsen. Außer solchen mit wiederholter Zwillingsbildung nach M kommen hier Sammelindividuen vor, an deren Aufbau mehrere Zwillingsgesetze zugleich sich beteiligen. So erscheinen wohl zwei Labradorite, jeder mit zahlreichen Lamellen nach M, nach Art der Karlsbader Orthoklaszwillinge mit einander verwachsen (ähnlich Fig. 277b). Oder man beobachtet, dass außer M noch die Basis Zwillingsebene ist, oder endlich, dass sogar nach drei Flächen, M, P und n (resp. e, entsprechend dem Bavenoer Gesetz beim Orthoklas) zugleich Zwillingsbildung stattfindet. Derartige Verwachsungen fanden sich im Gabbro von Neurode (Harz) und im Quarz-Andesit von Vöröspatak (Siebenbürgen).

Dass der Oligoklas und der Labradorit, wie überhaupt die hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung zwischen Albit und Anorthit stehenden Plagioklase, als isomorphe Mischungen der beiden letzteren anzusehen sind, geht auch daraus hervor, dass die physikalischen Eigenschaften dieser Zwischenglieder, der Zusammensetzung derselben entsprechend, einen Übergang zwischen denjenigen

des Anfangs- und Endgliedes der Reihe bilden. So ist das spezifische Gewicht des Albits = 2,624, des Anorthits = 2,758, während der Oligoklas seiner oben angeführten Zusammensetzung entsprechend das spez. Gewicht 2,659, der Labradorit das spez. Gewicht 2,728 besitzt. Auch die Lage der Auslöschungsrichtungen, z. B. auf der Basis, entspricht dem Mischungsverhältnis. Beim Albit weicht die eine Auslöschungsrichtung von der Kante $P:M$ um etwa 4°, beim Oligoklas im selben Sinne um 1° ab, während beim Labradorit die Abweichung im entgegengesetzten Sinne etwa 18°, beim Anorthit 37° beträgt. Es ist das Verdienst des berühmten Mineralogen G. Tschermak, die zwischen Albit und Anorthit stehenden Plagioklase als isomorphe Mischungen beider erkannt zu haben, während M. Schuster die optischen Beziehungen zwischen den einzelnen Gliedern der Reihe genauer erforscht und dadurch eine wesentliche Bestätigung der Tschermak'schen Auffassung geliefert hat.

Schließlich müssen wir noch eines Feldspats Erwähnung thun, dessen trikline Natur bei größter äußerer Ähnlichkeit mit Orthoklas von A. Des Cloizeaux 1876 auf optischem Wege erkannt wurde, des Mikroklins. Derselbe stimmt in chemischer Beziehung mit dem Orthoklas vollkommen überein, ist also ein Kalifeldspat. Die Substanz des Orthoklases ist demnach dimorph, sie kann im monoklinen und im triklinen System krystallisieren, wobei die Winkel der Krystalle fast genau übereinstimmen. Beim Mikroklin weicht der Winkel der Spaltungsflächen P und M nur um 16′ vom Rechten ab. Dünne Platten, nach P geschliffen, zeigen im parallelen polarisierten Lichte Auslöschungen, welche der Kante $P:M$ nicht parallel sind, sondern etwa einen Winkel von $15\frac{1}{2}$° mit ihr einschließen. Solche Platten sind aber, was für den Mikroklin besonders charakteristisch ist, niemals gleichartig, sondern ganz erfüllt mit dünnen, in Zwillingsstellung befindlichen Lamellen, von denen die einen parallel M liegen, die anderen jene senkrecht oder unter Winkeln von 92°—93° durchschneiden, so dass die Platte im polarisierten Lichte ein zierliches gegittertes Aussehen besitzt. Manchmal sind auch Lamellen eingelagert, welche parallel zur Kante $P:M$ auslöschen und aus Orthoklas bestehen, so wie anderseits unregelmäßig begrenzte Teile, deren Auslöschung mit jener Kante 4° einschließt und die als Albit zu deuten sind.

Die Zusammensetzung aus senkrecht sich kreuzenden Zwillingslamellen, welche meist ein sehr feines Gewebe bilden, zeigt besonders

der grüne Mikroklin oder Amazonenstein vom Ilmengebirge und von Lipowaia im Ural, von der Uttegrube in Schweden, der Küste von Labrador, von Delaware in Pennsylvanien, von Pikes Peak in Colorado. Während die Krystalle vom Ural oft unförmlich (bis 0,1 m) groß sind, kommen am letztgenannten Orte auch kleinere von herrlichster Ausbildung vor, welche in dieser Beziehung die uralischen weit übertreffen. Der Amazonenstein umschließt nur sehr selten Orthoklas und Albit. Weißer Mikroklin kommt z. B. von Everett (Massachusetts), fleischrot bis braun gefärbter von Arendal in Norwegen, grauroter von Itterby in Schweden. Bei Arendal bildet das Mineral einen hauptsächlichen, stellenweise fast den einzigen Bestandteil grobkörniger Gänge im Granit und wird in großer Menge für Porzellanfabriken gewonnen. Man erhält es daselbst meist in Spaltungsstücken, wie auch in Krystallen mit unvollkommenen Endflächen.

In Deutschland erscheint der Mikroklin stellenweise als Gemengteil des Granits, wie im Riesengebirge, bei Striegau in Schlesien u. a. O. Auch findet man aufgewachsene und wohlausgebildete Krystalle, welche man ohne optische Untersuchung für Orthoklas halten würde. Fig. 278 stellt einen hübschen Mikroklinzwilling vom Fuchsberg bei Striegau dar; die beiden Individuen sind nach Art der Bavenoer Orthoklaskrystalle verwachsen und tragen auf den Flächen T zahlreiche kleine Albite in regelmäßiger, S. 338 erörterter Stellung.

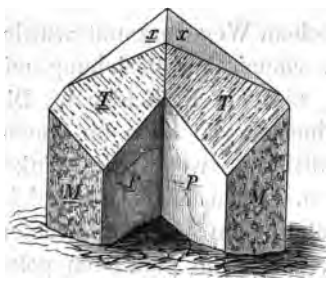


Fig. 278.

3. **Axinit.** Die Krystalle erinnern durch ihre scharfen, schneidenden Kanten (daher der Name von ἀξίνη, das Beil) an die des Kupfervitriols. Eine gewöhnliche Kombination stellt Fig. 279 dar. Man geht am besten von den beiden Flächen $p = \infty,'P$ und $u = \infty P,'$ aus, welche vorn einen stumpfen Winkel von 135° 31′, seitlich also den scharfen von 44° 29′ bilden. Beide sind stark vertikal (nach der Kante $p:u$) gestreift, was ihre Erkennung sehr erleichtert. Die linke obere Tetartopyramide $r = 'P$

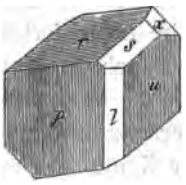


Fig. 279.

ist gegen p unter 134° 45′ (resp. 45° 15′) geneigt und parallel zur Kante $p:r$ gestreift. Dies sind die vorherrschenden Formen. Hierzu tritt als Abstumpfung der stumpfen Kante $p:u$ das Makropinakoid $l = \infty\bar{P}\infty$, welches mit p einen Winkel von 151° 5′, mit u einen solchen von 164° 26′ bildet; ferner das stark glänzende obere makrodiagonale Hemidoma $s = 2'\bar{P}'\infty$ als Abstumpfung der Kante $r:u$, sowie mit diesem und p in einer Zone liegend die trapezförmige Fläche der rechten oberen Tetartopyramide $x = P'$. Die scharfe Kante $p:u$ ist auch wohl durch das Brachypinakoid $\infty\breve{P}\infty$ abgestumpft, nach welchem eine deutliche Spaltbarkeit vorhanden ist. — Zwillinge sind nicht bekannt.

Die Härte beträgt 6,5 — 7, das spezifische Gewicht 3,3. Die Krystalle sind nelkenbraun bis rauchgrau, auch pflaumenblau oder pfirsichblütrot, durchsichtig bis kantendurchscheinend, glasglänzend und zeigen oft deutlichen Trichroismus. Die chemische Zusammensetzung ist eine komplizierte; der Axinit ist im wesentlichen ein borsäurehaltiges Silikat der Metalle Aluminium, Eisen, Mangan und Calcium.

Die Krystalle finden sich einzeln aufgewachsen oder zu Drusen vereinigt, namentlich sehr verbreitet in den Alpen (ausgenommen Tirol), wo sie mit Bergkrystall, Adular, Epidot und anderen Mineralien zusammen vorkommen, am schönsten bei Bourg d'Oisans im Dauphinée. Auf der Grube Botallak in Cornwall erscheinen sie zusammen mit Turmalin, bei Thum in Sachsen mit Zinkblende auf Erzgängen. Andere Fundorte sind noch: Skopi am Lukmanier (Schweiz), Striegau in Schlesien (hier nur kleine, aber sehr flächenreiche Krystalle), Poloma bei Betler in Ungarn. Im Harz (Andreasberg, Treseburg) und Taunus (Falkenstein), bei Thum, Kongsberg u. a. a. O. tritt der Axinit auch in derben, krystallinischen Massen auf.

Anhang I.

Die Miller'schen Symbole. Messung der Krystallwinkel.

1. Außer den von Naumann und Weiß herrührenden Bezeichnungsarten der verschiedenen Krystallformen giebt es noch mehrere andere, von denen namentlich eine, welche nach dem englischen Mineralogen Miller benannt ist, auch in Deutschland üblich ist. Die Miller'sche Bezeichnung schließt sich eng an die Weiß'sche an, indem sie von den Achsenschnitten oder Parametern einer Fläche ausgeht, indes nicht diese selbst, sondern die reciproken Werte der auf die Achsen bezüglichen Koeffizienten, die sogen. Indices, enthält. Auch fällt das Zeichen für die einzelnen Achsen (die Buchstaben a, b und c) aus, es werden nur die Indices unmittelbar neben einander geschrieben. Für alle Systeme, mit Ausnahme des hexagonalen, geht man von den drei Achsen a, b und c aus, wovon a von hinten nach vorn, b von rechts nach links und c von oben nach unten verläuft. Die vordere Hälfte von a, die rechte von b und die obere von c (also die drei Halbachsen im vorderen, rechten, oberen Oktanten) bezeichnet man als positiv, die anderen Hälften als negativ, desgleichen die darauf bezüglichen Indices. Letztere werden im allgemeinen mit h, k, l bezeichnet. Sind nun bei einer Krystallfläche die auf die Achsen a, b und c bezüglichen Koeffizienten m, n und r, so verhält sich

$$h : k : l = \frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{r} ,$$

also auch $$m : n : r = \frac{1}{h} : \frac{1}{k} : \frac{1}{l}$$

Die Indices h, k, l sind, als Nenner von Brüchen mit dem Zähler 1, den Abschnitten der Fläche an den drei Achsen umgekehrt proportional, während die Koeffizienten in den Weiß'schen und Naumann'schen Symbolen diesen Abschnitten direkt entsprechen. Man kann auch sagen, die Indices seien die Koeffizienten, mit welchen man die Parameter der betreffenden Fläche multiplizieren muss, um die Parameter der Grundform zu erhalten.

Wie man nun aus den Koeffizienten m, n und r die Indices h, k, l erhält, sei an ein paar Beispielen gezeigt. Liege eine Fläche im vorderen, rechten, oberen Oktanten und komme ihr das Weißsche Symbol $3a : 2b : c$ zu, so verhält sich nach dem Gesagten

$$h : k : l = \tfrac{1}{3} : \tfrac{1}{2} : \tfrac{1}{1}.$$

In dem letzteren Verhältnis multipliziert man nun alle Glieder mit 6, dann geht es über in $2 : 3 : 6$, und das Miller'sche Zeichen für die Fläche wird (236). Läge die Fläche im vorderen, rechten, unteren Oktanten, so müsste man über den Index l das Vorzeichen $-$ setzen und erhielte dann $(23\bar{6})$; läge sie im hinteren, linken, unteren Oktanten, so wäre ihr Symbol $(\bar{2}\bar{3}\bar{6})$. Käme einer Fläche im vorderen, rechten, oberen Oktanten das Weiß'sche Zeichen $3a : \frac{3}{2}b : c$ zu, so erhielte man zunächst

$$h : k : l = \tfrac{1}{3} \cdot \frac{1}{\frac{3}{2}} : \tfrac{1}{1}$$

und hieraus durch Multiplikation mit 3 das Verhältnis $1 : 2 : 3$, also das Symbol (123). Einer Fläche der Grundform kommt offenbar das Zeichen (111) zu. Geht eine Fläche einer oder zwei Achsen parallel, so dass der betreffende Koeffizient ∞ wird, so erscheint in dem Miller'schen Symbol an der betreffenden Stelle der Index 0 $\left(= \frac{1}{\infty}\right)$. Eine Fläche des Rhombendodekaeders erhält z. B. das Zeichen (110), eine solche des Würfels (100).

Will man alle entsprechend gelegenen Flächen, welche zu einer und derselben Krystallform gehören, zusammenfassen, so schreibt man die Indices einer dieser Flächen in einer gebrochenen Klammer, also im allgemeinen $\{h\,k\,l\}$. Während also z. B. die acht Flächen des Oktaeders der Reihe nach die Symbole erhalten (111) $(\bar{1}11)$ $(1\bar{1}1)$ $(11\bar{1})$ $(\bar{1}\bar{1}1)$ $(1\bar{1}\bar{1})$ $(\bar{1}1\bar{1})$ $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$, schreibt man sie in ihrer Gesamtheit als vollständige Krystallform $\{111\}$.

Wie man das Naumann'sche Symbol einer Krystallform in das Miller'sche überführt, sei gleichfalls an ein paar Beispielen gezeigt.

Sei die betreffende Form etwa das Hexakisoktaeder $4O2$, so leitet man hieraus zunächst das Verhältnis der Koeffizienten ab $= 4:1:2$, oder, da im regulären System die Achsen alle gleichwertig sind, nach steigender Größe geordnet $1:2:4$. Hieraus erhält man das Verhältnis der Indices $= \frac{1}{1}:\frac{1}{2}:\frac{1}{4}$ oder (nach Multiplikation mit 4) $4:2:1$ und das Miller'sche Symbol $\{421\}$. Die sechs im vorderen, rechten, oberen Oktanten gelegenen Flächen dieser Form erhalten der Reihe nach die Symbole (421) (241) (142) (124) (214) (412), wobei die Indices stets in der Reihenfolge geschrieben sind, wie sie sich auf die vordere, die seitliche und die obere Halbachse beziehen.

Hätte man z. B. die rhombische Brachypyramide $\frac{3}{2}\breve{P}3$, so wäre das Verhältnis der Koeffizienten $3:1:\frac{3}{2}$ und das der Indices $\frac{1}{3}:\frac{1}{1}:\frac{1}{\frac{3}{2}}$, oder $1:3:2$, demnach das Miller'sche Zeichen $\{132\}$.

Sind bei einer Form zwei auf gleichwertige Achsen bezügliche Indices einander gleich, so drückt man im allgemeinen Symbol beide durch den nämlichen Buchstaben aus. So ist z. B. das allgemeine Symbol für die Ikositetraeder $mOm = \{hll\}$, für die Triakisoktaeder $mO = \{hhl\}$, wobei stets $h > l$ ist.

Das Vorhandensein einer Hemiedrie oder Tetartoedrie wird durch vorgesetzte griechische Buchstaben angedeutet. Will man z. B. ausdrücken, dass eine Form der tetraedrischen (geneigtflächigen) Hemiedrie unterliege, so setzt man vor ihre Indices ein χ (von χλίνω, neige); so in $\chi\{111\} = +\frac{O}{2}$, $\chi\{1\bar{1}1\} = -\frac{O}{2}$. Den pyritoedrisch-hemiedrischen (parallelflächigen) Formen setzt man den Buchstaben π (als Abkürzung von παράλληλος), den regulär-tetartoedrischen, weil sie gleichzeitig den beiden genannten Hemiedrien unterliegen, die beiden Buchstaben χπ vor.

Da die Miller'schen Zeichen für die dreiachsigen Krystallsysteme nur die Indices der Flächen angeben, so ist aus ihnen noch nicht ersichtlich, welchem System die betreffenden Formen angehören. Im hexagonalen System werden jedoch vier Indices aufgeführt, welche man im allgemeinen mit h, i, k, l bezeichnet. Die ersten drei beziehen sich der Reihe nach auf die drei Hälften der Nebenachsen, welche 120° mit einander einschließen, begonnen mit der bei der üblichen Aufstellung vorn links gelegenen Halbachse, wobei dann also stets eine Halbachse überschlagen wird. Diese drei Halbachsen bezeichnet man als positive, die zwischenliegenden, welche die

Verlängerung der ersteren bilden, als negative, desgleichen die darauf bezüglichen Indices. Der vierte Index l bezieht sich auf die Hauptachse (oben +, unten —). Bei dieser Schreibweise ist unter Berücksichtigung des Vorzeichens der Indices immer $h+i+k=0$.

Bei den Protopyramiden sind stets zwei auf die Nebenachsen bezügliche Indices gleich, jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen, der dritte $=0$. Demnach lautet ihr allgemeines Symbol $\{h0\bar{h}l\}$, und es ist z. B. $P=\{10\bar{1}1\}$, $3P=\{30\bar{3}1\}$, $\frac{2}{5}P=\{20\bar{2}5\}$. Bei den Deuteropyramiden sind zwei von den drei ersten Indices gleich, der dritte doppelt so groß, indes mit umgekehrtem Vorzeichen. Ihr allgemeines Symbol ist $\{hh(\bar{2}h)l\}$; z. B. $P2=\{11\bar{2}2\}$, $3P2=\{33\bar{6}2\}$. Die zwölfseitigen Pyramiden werden zu $\{hi\bar{k}l\}$; z. B. $3P\frac{3}{2}=\{31\bar{2}1\}$, $6P\frac{6}{5}=\{61\bar{5}1\}$. Die zwölfseitigen Prismen sind allgemein $\{hi\bar{k}0\}$, das Deuteroprisma ist $\{11\bar{2}0\}$, das Protoprisma $\{10\bar{1}0\}$, die Basis $\{0001\}$.

Das Vorhandensein der rhomboedrischen Hemiedrie wird durch ein dem Symbol der entsprechenden holoedrischen sechsseitigen oder zwölfseitigen Pyramiden vorgesetztes π (von anderen Schriftstellern durch ein χ) ausgedrückt. Es wird

$$+mR=\pi\{h0\bar{h}l\};\quad -mR=\pi\{0h\bar{h}l\}$$
$$+mRn=\pi\{hi\bar{k}l\};\quad -mRn=\pi\{ikhl\}$$

So wird $+R=\pi\{10\bar{1}1\}$, $-R=\pi\{01\bar{1}1\}$, $+\frac{1}{2}R=\pi\{10\bar{1}2\}$, $-\frac{1}{2}R=\pi\{01\bar{1}2\}$ u. s. w.

Das Skalenoeder $+R3$ wird $=\pi\{31\bar{2}1\}$, $-R3=\pi\{12\bar{3}1\}$, $+\frac{2}{5}R2=\pi\{41\bar{3}5\}$, $-2R2=\pi\{13\bar{4}1\}$.

Um das Naumann'sche Symbol mRn eines Skalenoeders in das Miller'sche der entsprechenden holoedrischen zwölfseitigen Pyramide überzuführen, bedient man sich der allgemeinen Formel

$$\left\{2n\cdot-(n-1)\cdot-(n+1)\cdot\frac{2}{m}\right\}.$$

So erhält man z. B. bei $R3$ der Reihe nach folgende Indices: $2\cdot3=6$, $-(3-1)=-2$, $-(3+1)=-4$, $\frac{2}{1}=2$, also das Symbol $\{62\bar{4}2\}$, oder nach Division sämtlicher Indices durch 2, $\{31\bar{2}1\}$. Hieraus ergeben sich für $+R3$ und $-R3$ die oben angeführten Zeichen.

2. Die Ermittelung des Krystallsystems, die Berechnung des Achsenverhältnisses und die Bestimmung der einzelnen Krystallflächen beruht zunächst auf der Messung der von den letzteren gebildeten

Kantenwinkel. Diese Messung wird mit Hilfe verschiedener Instrumente vorgenommen, welche man Goniometer nennt. Wir besprechen kurz die zwei gebräuchlichsten derselben, das Anlegegoniometer und das Reflexionsgoniometer.

a. Das Anlegegoniometer, das älteste zur Messung der Krystallwinkel benutzte Instrument, besteht aus zwei Linealen ll und $l'l'$ (Fig. 280), welche um eine zu ihrer Ebene senkrechte Achse drehbar sind. Dieselben können mittelst des Knopfes k von dem in Grade geteilten Kreise r, um dessen Mittelpunkt sie drehbar sind, abgehoben werden. Man bringt nun die zu messende Krystallkante so zwischen die Schneiden s und s', dass sie senkrecht zu deren Ebene steht, und dreht die Schenkel der Lineale so weit, dass s

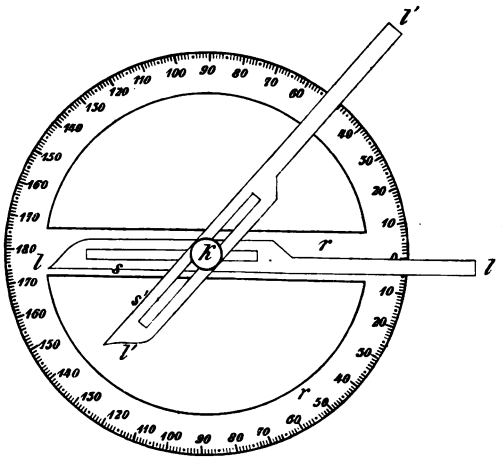


Fig. 280.

auf der einen, s' auf der anderen Krystallfläche aufliegt, was man am besten sehen kann, wenn man das Ganze dabei gegen das Licht hält. Die beiden Lineale bilden jetzt offenbar denselben Winkel mit einander, welchen die beiden in der zu messenden Kante einander schneidenden Krystallflächen einschließen. Steckt man nun die Achse derselben wieder in die, in der Mitte des Kreises r befindliche kreisrunde Öffnung und dreht sie, bis der eine Schenkel an einen im Nullpunkte der Teilung befindlichen Stift anschlägt, so zeigt die durch den Kreismittelpunkt gehende Schneide des anderen unmittelbar auf dem Kreise den gesuchten Winkel an (in der Figur

etwas über 48°). Um auch aufsitzende Krystalle messen zu können, bei denen oft ein Auflegen der Schenkel wegen der benachbarten Krystalle nicht möglich wäre, kann man die Schenkel durch parallele Verschiebung der beiden Lineale beliebig verkürzen. Das Anlegegoniometer kann nur bei großen und ganz ebenen Flächen eine größere Genauigkeit geben, als etwa auf 1°. Es dient daher nur zur Orientierung an nicht zu kleinen Krystallen oder zu angenäherten Messungen bei sehr großen, für andere Goniometer zu unbehilflichen Krystallen, sowie zur Anfertigung von Krystallmodellen.

b. Das Reflexionsgoniometer beruht auf der an den Krystallflächen, gleichwie an Planspiegeln, stattfindenden Zurückwerfung des Lichtes. Es setzt deshalb ebene und glatte Flächen voraus und ist selbst bei sehr kleinen Krystallen anwendbar. Die Genauigkeit der mit demselben ausgeführten Messungen ist eine weit größere als beim Anlegegoniometer; sie geht bis auf 1 Minute, bei sehr vollkommener Ausführung des Instrumentes und bei vorzüglicher Beschaffenheit der Flächen bis auf 1 Sekunde. Das Reflexionsgoniometer besteht im wesentlichen aus einem, bei den älteren Instrumenten vertikal, bei den neueren horizontal stehenden Vollkreise oder Limbus, welcher mit einer feinen Teilung versehen ist, so dass er mittelst eines Nonius Ablesungen bis auf 1 Minute, bei sehr feinen Instrumenten bis auf die Sekunde gestattet. Der horizontale Limbus ruht auf einem Dreifuß und ist mit einer unter ihm befindlichen Handhabe versehen, mittelst welcher er um die durch seinen Mittelpunkt gehende senkrechte Achse gedreht werden kann. Bei dieser Drehung nimmt er die durch ihn gesteckte Achse mit, so dass sich letztere gleichzeitig mit ihm dreht. Die Achse ist aber auch für sich und unabhängig vom Limbus drehbar. Auf ein an dem oberen Ende derselben angebrachtes Tischchen wird nun der zu messende Krystall mit Wachs so befestigt, dass die betreffende Kante einerseits senkrecht zur Ebene des Limbus steht und anderseits genau in die Verlängerung der Drehungsachse des Instrumentes fällt. Diese Lage wird erreicht durch entsprechende Verschiebungen mehrerer, durch Schrauben bewegbarer sogen. Schlitten, welche die Unterlage des Tischchens bilden, dem auf diese Weise jede erforderliche Stellung gegeben werden kann. Dreht man nun die Achse des Instruments, so darf die zu messende Kante keine andere Bewegung ausführen, als die um sich selbst.

Das die Spiegelung bewirkende Licht fällt durch ein horizontales Einlass-Fernrohr auf die betreffende Krystallfläche auf und geht nach der Reflexion durch ein zweites, mit einem Fadenkreuz versehenes, gleichfalls horizontales Fernrohr (Ocular-Fernrohr), wodurch das Spiegelbild eines an dem Einlass-Fernrohr angebrachten Signals beobachtet wird. Die Ebene, in welcher sich der einfallende und der reflektierte Lichtstrahl bewegen, muss dem Limbus

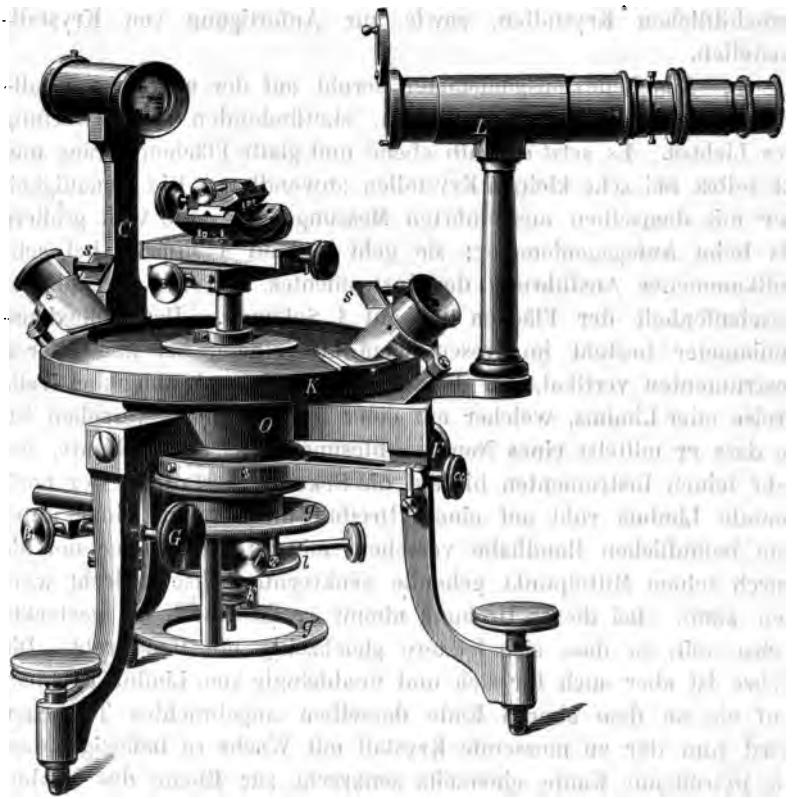


Fig. 281.

parallel sein; demnach ist auch die durch die beiden Fernröhre gelegte Ebene parallel mit der Limbusebene. Als Signal resp. als Gegenstand, dessen Spiegelbild man beobachten will, dient ein im Einlass-Fernrohr befindliches Fadenkreuz, zweckmäßiger ein an dem Ende desselben angebrachter einfacher oder Kreuzspalt in einer

Metallplatte, welcher durch eine dahinter gesetzte Lichtflamme erleuchtet wird. Stellt man nun den Limbus mit dem auf die Achse aufgesetzten Krystall so ein, dass man das von der einen der beiden, die zu messende Kante bildenden Krystallflächen reflektierte Signal im Okular-Fernrohr erblickt, resp. dass dessen Mitte mit der Mitte des Fadenkreuzes im letzteren genau zusammenfällt, und dreht hierauf so weit, bis dasselbe auch bei der zweiten Krystallfläche der Fall ist, so giebt der abgelesene Drehungswinkel (nicht direkt den Kantenwinkel, sondern) das Supplement des von beiden Flächen gebildeten Winkels an. Man nennt den so erhaltenen Winkel, weil er gleich demjenigen ist, welchen zwei in einem Punkte der Kante auf den beiden Flächen errichtete Senkrechte mit einander einschließen, den Normalenwinkel. Der wirkliche Kantenwinkel ist dann gleich 180° minus dem gemessenen Drehungswinkel.

Ein von dem rühmlichst bekannten Mechaniker R. Fueß in Berlin gebautes Reflexionsgoniometer der beschriebenen Art stellt obige Fig. 281 dar. Bei *K* befindet sich der von einer schützenden Messinghülle bedeckte Limbus; die Hülle ist nur an zwei Stellen (bei *s*, *s*) durchbrochen resp. mit Glasplatten versehen, durch welche hindurch die Ablesung der Winkel mit Hilfe einer Lupe erfolgt. *L* ist das Okular-Fernrohr.

In Fällen, wo es sich um die Messung von Krystallen handelt, deren sonst ebene Flächen matt sind, also kein Spiegelbild liefern, versucht man auf verschiedene Weise, die Messung mit dem Reflexionsgoniometer zu ermöglichen. Entweder fertigt man Abdrücke der Krystalle, wie z. B. in Siegellack, an denen alsdann die Messung vorgenommen wird, oder man überzieht die Krystallflächen mit einem Firniss, welcher nach dem Trocknen eine glänzende Oberfläche zeigt, oder endlich, man beklebt dieselben mit sehr dünnen Glasplättchen. Die Genauigkeit der Messung bei Benutzung solcher künstlich hergestellten glänzenden Flächen hängt natürlich davon ab, bis zu welchem Grade die letzteren den eigentlichen Flächen des Krystalls parallel sind.

Anhang II.

Die wichtigsten Gesteine nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung.

Ein Gestein besteht, wie schon S. 71 bemerkt wurde, entweder nur aus einem einzigen Mineral, wie der Kalkstein (aus Kalkspat), oder aus mehreren, wie der Granit (aus Orthoklas, Quarz und Glimmer). Im ersteren Falle nennt man es ein einfaches, im letzteren ein gemengtes. Bei einem gemengten Gestein unterscheidet man wesentliche oder charakteristische und unwesentliche oder accessorische (zufällige) Gemengteile. Wesentliche Gemengteile sind solche, welche regelmäßig an der Zusammensetzung des betreffenden Gesteins teilnehmen, unwesentliche solche, welche nur zuweilen und dann meist in untergeordneter Menge in demselben vorkommen. Die wesentlichen Gemengtheile des Granits wurden oben genannt, accessorisch treten in demselben manchmal Granat, Turmalin u. a. auf. Von der großen Reihe der bisher bekannten Mineralien nimmt nur eine verhältnismäßig geringe Zahl an der Zusammensetzung der Gesteine hervorragenden Anteil.

Als einfache Gesteine, resp. nur mit geringen Beimengungen anderer Substanzen treten hauptsächlich auf: Steinsalz, Anhydrit, Gyps, Kalkspat, Dolomit, Quarz, Hornblende, Talk, Chlorit, Serpentin, Magneteisenerz, Spateisenstein (Eisenspat), Rot- und Brauneisenstein, Steinkohle, Braunkohle, Eis.

An der Zusammensetzung der gemengten Gesteine beteiligen sich namentlich folgende Mineralien:

1. Quarz;
2. Orthoklas (Sanidin), Albit, Oligoklas, Labradorit, Anorthit;
3. Leucit, Nephelin;

4. Muscovit, Biotit;
5. Augit (Diallag), Hornblende;
6. Olivin;
7. Granat;
8. Magneteisenerz.

Der größte Teil der genannten Mineralien ist uns schon bekannt, die übrigen sollen im Folgenden gelegentlich kurz beschrieben werden.

Wir führen die wichtigsten Gesteine in alphabetischer Ordnung auf, müssen uns jedoch, dem Zwecke dieses Buches entsprechend, hauptsächlich auf die Angabe der mineralogischen Zusammensetzung derselben beschränken.

1. Andesit (eruptiv) ist im wesentlichen ein Gemenge von Oligoklas und Hornblende oder Augit, zu denen sich als dritter Gemengteil Quarz gesellen kann. Demnach unterscheidet man Hornblende- und Augit-Andesit, welche beide wieder in eine quarzfreie und eine quarzhaltige Varietät zerfallen. Der quarzhaltige Hornblende-Andesit wird auch als Dacit bezeichnet. Als accessorische Gemengteile enthalten die Andesite wohl Biotit und Magneteisenerz[1]). Das Gefüge der Andesite ist entweder feinkörnig bis dicht, wobei man die einzelnen Gemengteile mit bloßem Auge nicht mehr unterscheiden kann, oder porphyrisch, indem in einer feinkörnigen bis dichten Grundmasse größere Krystalle, Körner oder Blättchen gewisser Gemengteile (Oligoklas, Hornblende, Augit, Quarz, Biotit) unregelmäßig zerstreut liegen.

2. Anhydrit (s. S. 264).

3. Basalt (eruptiv) stellt eine grau- oder blauschwarze, scheinbar gleichartige Masse dar, welche nach den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchung wesentlich besteht entweder: *a.* aus Plagioklas, Augit, Magneteisenerz und Olivin[2]) (letzterer ist oft auch in größeren Körnern bis kopfgroßen Partien ausgeschieden), — oder *b.* aus Nephelin[3]), Augit, Magneteisenerz, auch wohl Olivin, — oder

---

1. Magneteisenerz: Eisenoxydoxydul $Fe_2O_3 . FeO$, regulär, schwarz, völlig undurchsichtig.

2) Olivin: kieselsaure Magnesia $Mg_2 Si O_4$ in isomorpher Mischung mit kieselsaurem Eisenoxydul $Fe_2 Si O_4$, rhombisch, gelblichgrün, gelb, braun, durchsichtig bis durchscheinend.

3) Nephelin: annähernd $(Na, K)_2 Al_2 (Si O_4)_2$, hexagonal, farblos, weiß und verschieden gefärbt, durchsichtig bis durchscheinend.

c. aus Leucit, Augit und Magneteisenerz, — oder endlich *d.* aus Melilith[1]), Augit und Olivin. Hiernach unterscheidet man *a.* Plagioklasbasalt, *b.* Nephelinbasalt, *c.* Leucitbasalt, *d.* Melilithbasalt.

4. Brauneisenstein, im wesentlichen ein Eisenhydroxyd von der Formel $H_6Fe_4O_9$, feinkrystallinisch, gelblich- bis schwärzlich braun, undurchsichtig. Ist aus der Umwandlung von Spateisenstein oder Schwefelkies entstanden.

5. Braunkohle enthält, abgesehen von den Aschenbestandteilen, etwa 55 — 75 % Kohlenstoff, 19 — 26 % Sauerstoff und 3 — 6 % Wasserstoff; amorph, oft mit deutlicher Holzstruktur, braun bis pechschwarz, undurchsichtig.

6. Chloritschiefer ist ein schieferiges, lauchgrünes Aggregat von Chloritschuppen[2]), welchen gewöhnlich etwas Quarz, häufig auch etwas Feldspat beigemengt ist. Der Chloritschiefer umschließt oft schön ausgebildete Krystalle von Magneteisenerz, Granat, Turmalin, Schwefelkies u. a.

7. Diabas (eruptiv). Grob- bis feinkörniges, grünes oder grünlichgraues Gemenge von Plagioklas und Augit, wozu sich Magneteisenerz, Apatit und mitunter etwas Orthoklas gesellen. Zuweilen treten Quarz und Olivin als Gemengteile auf. Die grünliche Farbe des Gesteins wird durch beigemengten Chlorit bedingt (Grünstein). Kalkspat, durch Zersetzung entstanden, durchzieht den Diabas in feinen Streifen und Adern.

8. Diorit (eruptiv). Körniges Gemenge von Plagioklas und Hornblende, zu welchen manchmal Augit und Quarz kommen. Die Hornblende bedingt die dunkle Farbe des Gesteins. Chloritschüppchen treten in gewissen Dioriten auf und verleihen denselben eine grünliche Färbung. Viele Diorite enthalten schwarze oder braune Glimmertafeln, welche gegenüber der Hornblende vorwiegen, ja dieselbe ganz verdrängen können (Glimmerdiorit).

9. Dolerit (eruptiv). Grob- oder mittelkörniges Gemenge von

1) Melilith: kieselsaures Salz der Metalle Aluminium, Calcium, Magnesium und Natrium, quadratisch, gelblichweiß bis honiggelb und gelblichbraun, durchscheinend.

2) Chlorit: enthält Kieselsäure, Thonerde, Magnesia, Eisenoxydul und Wasser (chemische Formel, wie auch beim vorigen, ziemlich kompliziert), hexagonal-rhomboedrisch, vollkommen spaltbar nach oR, dunkelgrün, in dünnen Blättchen durchsichtig bis durchscheinend.

Plagioklas (oder Nephelin) und Augit, nebst Olivin, Apatit und Magneteisenerz (wesentlich eine grobkörnigere Varietät von Plagioklas- resp. Nephelinbasalt).

10. Dolomit (s. S. 207).

11. Eis, H_2O, hexagonal, wahrscheinlich rhomboedrisch; in kleinen Stücken farblos, in großen hingegen grünlichblau, vollkommen durchsichtig.

12. Gabbro (bisweilen eruptiv). Körniges Aggregat von Plagioklas (Labradorit oder Anorthit) und Diallag, unterscheidet sich demnach von Diabas hauptsächlich dadurch, dass der Augit durch Diallag ersetzt ist. Ein häufiger accessorischer Gemengteil des Gabbros ist der Olivin.

13. Glimmerschiefer[1]). Schieferiges Gemenge von Glimmer und Quarz. Der Glimmer ist in der Regel hellfarbiger Kaliglimmer, zuweilen dunkler Magnesiaglimmer. Die Glimmerblättchen liegen mehr oder weniger parallel, wodurch die schieferige Struktur des Gesteins hervorgerufen wird. Von den accessorischen Gemengteilen ist vor allem roter oder brauner Granat zu nennen, der fast in jedem Glimmerschiefer auftritt, dann Turmalin, Feldspat, Hornblende, Staurolith, Rutil u. a.

14. Gneiß. Schieferiges Gemenge von Orthoklas (zum Teil auch Plagioklas), Quarz und Glimmer. Die Glimmerblättchen liegen parallel. Von den zufälligen Gemengteilen seien erwähnt: Granat, Turmalin, Epidot, Hornblende. Manche Varietäten nähern sich durch ihre körnige (kaum mehr schieferige) Struktur sehr dem Granit (Granitgneiß).

15. Granit (meist eruptiv). Grob- bis feinkörniges Aggregat von Orthoklas, gewöhnlich auch Plagioklas, von Quarz und Glimmer. Der Feldspat waltet in der Regel vor; viele Granite enthalten auch Mikroklin. Der Glimmer kann sowohl Kali- als Magnesiaglimmer sein. Je nach der Farbe des Feldspats und Glimmers erscheint das Gestein rötlich oder grau gefärbt. Als accessorische Gemengteile enthält der Granit ziemlich häufig schwarzen Turmalin, roten

1) Der Glimmerschiefer ist zwar, ebenso wie Gneiß und Granulit, Paragonitschiefer, Chlorit-, Hornblende- und Talkschiefer, ursprünglich sedimentärer Entstehung, doch ist die jetzige Beschaffenheit dieser Gesteine nach der Ansicht vieler Geologen nicht mehr die anfängliche, sondern sie haben im Laufe der Zeit eine Umwandlung erlitten, welcher sie ihre ausgeprägte krystallinische (derjenigen der eruptiven Gesteine analoge) Stru ktur verdanken.

Granat, Magneteisenerz, Beryll, sehr oft mikroskopisch kleine Krystalle von Apatit. Den sehr großkörnigen Granit bezeichnet man als Pegmatit. Der Granitit besteht aus Orthoklas, reichlichem Oligoklas, Quarz und Biotit (den turmalinführenden nennt man Turmalingranit).

16. Granulit. Schieferiges Gemenge von Orthoklas (bisweilen begleitet durch triklinen Feldspat) und Quarz mit eingestreuten kleinen roten Granaten. Der Feldspat bedingt durch seine rötliche, gelbliche oder weiße Farbe die helle Färbung des Gesteins. Accessorisch erscheinen namentlich Glimmer und blauer Cyanit [1]), auch schwarzer Turmalin.

17. Grauwacke (sedimentäres Trümmergestein) besteht aus abgerundeten Bruchstücken von Quarz, Thonschiefer, Kieselschiefer (d. i. dichter, schieferiger Quarz), Feldspatkörnern, zum Teil auch Glimmerblättchen, welche durch ein kieseliges oder kieselig-thoniges Bindemittel verkittet sind; oft durch fein verteilte Kohlenstäubchen dunkelgrau gefärbt.

18. Gyps (s. S. 302).

19. Hornblendeschiefer. Schieferiges Aggregat von schwärzlichen oder dunkelgrünen Hornblendeindividuen, welchen sich meist untergeordnet Quarz, Feldspate, Granat, Epidot und Schwefelkies beigesellen.

20. Itacolumit. Schieferiges Gemenge von Quarzkörnchen nebst Feldspatteilchen und Schüppchen von Glimmer, Chlorit und Talk [2]). In Brasilien und in den Staaten Georgia und Süd-Carolina das Muttergestein des Diamants.

21. Kalkstein (s. S. 206). Der gemeine Kalkstein (sedimentär) ist oft etwas thonhaltig, geschichtet, grau, gelb, schwarz oder bläulich gefärbt und geht bei größerem Gehalt an Thon in den Mergel über.

22. Konglomerate (Trümmergesteine). Dieselben bestehen aus fest verkitteten Bruchstücken der verschiedensten Mineralien und Gesteine von Erbsen- bis Kopfgröße, welche abgerundet (Rollstücke) sind. Nach der Art der Bruchstücke unterscheidet man

---

1) Cyanit: kieselsaure Thonerde $Al_2 Si O_5$, triklin, farblos, gelblich, rötlich, jedoch meist blau, durchsichtig bis durchscheinend.

2) Talk: wasserhaltige kieselsaure Magnesia, ausdrückbar durch die Formel $H_2 Mg_3 (Si O_3)_4$ — aufgefasst als saures kieselsaures Salz —, wahrscheinlich monoklin, meist in schuppigen Massen, grünlich- oder graulichweiß, in dünnen Blättchen durchsichtig.

Kalkstein-, Quarz-, Gneiß-, Granit-, Porphyr-, Basalt-Konglomerat etc. Die sogenannten Breccien unterscheiden sich von den Konglomeraten nur dadurch, dass die verkitteten Bruchstücke scharfkantig sind. Konglomerate und Breccien gehen oft in einander über.

23. Lava stellt im allgemeinen keine besondere Felsart dar, man bezeichnet vielmehr als solche jeden erstarrten (oder erstarrenden) Ausfluss eines Vulkans. Die Lava unterscheidet sich nicht wesentlich von den Gesteinen Trachyt, Andesit, Phonolith und Basalt, womit sie sowohl in chemischer als in mineralogischer Hinsicht übereinstimmt. Demnach spricht man von Trachyt-, Andesit-, Phonolith- und Basaltlava. An den Leucitbasalt schließt sich an die Leucitlava, welche kleine oder größere, oft sehr gut ausgebildete Leucitkrystalle beherbergt.

24. Magneteisenerz (s. Anm. S. 353) tritt als Magneteisenstein selten rein, sondern gewöhnlich mit Granat, Chlorit, Quarz und anderen Mineralien gemengt auf und bildet mächtige Lager namentlich im Gneiß und Glimmerschiefer.

25. Marmor (s. S. 206).

26. Melaphyr (eruptiv). Dichtes, meist schwarzes, sehr häufig mandelsteinartiges (d. i. von mandelförmigen Hohlräumen, in welchen sich oft verschiedene Mineralien angesiedelt haben, durchsetztes) Gemenge von Plagioklas, zuweilen auch Orthoklas, sowie von Augit und Olivin nebst Magneteisenerz und Apatit. Oft porphyrartig mit ausgeschiedenen kleinen Plagioklaskrystallen.

27. Paragonitschiefer schließt sich an den Glimmerschiefer an, enthält aber anstatt Muscovit und Biotit Natronglimmer.

28. Phonolith (eruptiv). Dichte, resp. höchst feinkrystallinische Masse von grauer oder bräunlicher Farbe, als deren Bestandteile die mikroskopische Untersuchung Sanidin, Nephelin, Augit, Hauyn[1]) (manchmal auch Leucit) und Magneteisenerz ergeben hat. Besitzt dünn- bis dickschieferige Struktur; die dünnen Platten klingen hell (Klingstein). Oft mit größeren Einsprenglingen von Sanidin und Hornblende (porphyrischer Phonolith).

29. Porphyr (eruptiv) wird eingeteilt in Quarzporphyr und quarzfreien Orthoklasporphyr. Ersterer besteht aus einer feinkrystallinischen bis dichten oder fast glasigen Grundmasse, gemengt aus Quarz- und Orthoklassubstanz, in welcher Krystalle von

1) Hauyn: im wesentlichen ein Natriumaluminiumsilikat in Verbindung mit schwefelsaurem Natron; regulär, farblos, weiß, meist blau, durchscheinend.

Quarz und Orthoklas, daneben auch solche von Plagioklas und Glimmer ausgeschieden liegen. Der quarzfreie Orthoklasporphyr enthält in einer dichten oder erdigen, aus Orthoklas bestehenden Grundmasse zahlreiche große Krystalle desselben Minerals, sowie kleinere und spärlichere von Oligoklas, schwarze Hornblendesäulen und Tafeln von Biotit. Der Porphyr ist sehr verschieden gefärbt: rötlich, braun, grünlich, gelblich, grau.

30. Quarzit ist eine körnige bis dichte, weiße, graue oder rötlich gefärbte Quarzmasse. Als zufällige Gemengteile treten unter anderen auf Glimmer, Granat, Turmalin, Schwefelkies, Magneteisenerz. Meist sind die Quarzite deutlich geschichtet.

31. Roteisenstein (Roteisenerz, s. S. 219), faserig bis erdig, besteht im reinsten Zustande aus Eisenoxyd, ist aber häufig stark durch Thon und Kieselsäure verunreinigt; manchmal deutlich geschichtet.

32. Sandstein (sedimentäres Trümmergestein) besteht aus Quarzkörnern, welche durch ein Bindemittel verkittet sind. Nach der Natur des letzteren unterscheidet man quarzigen, thonigen, kalkigen und eisenschüssigen Sandstein. Die Farbe des Gesteins ist meist weißlich oder grau; besteht das Bindemittel hingegen aus Eisenoxyd oder Eisenhydroxyd, so ist der Sandstein rot oder braun bis gelb gefärbt. Derselbe ist gewöhnlich deutlich geschichtet.

33. Serpentin. Dichtes oder feinkörniges, dunkelgrünes bis braunes, oft verschiedenfarbig geflammtes oder geadertes Gestein, welches aus dem gleichnamigen Mineral[1]) besteht und aus der Umwandlung eines Urgesteins, speciell aus den Mineralien Olivin, Augit und Hornblende, hervorgegangen ist. Der Serpentin umschließt oft noch Olivin, Augit, Hornblende oder Pyrop.

34. Spateisenstein (Eisenspat, s. S. 207) ist ein gelblichgraues bis gelblichbraunes, grob- bis feinkörniges Aggregat von rhomboedrischen Individuen des genannten Minerals. Als zufällige Gemengteile treten Einsprenglinge von Schwefelkies, Kupferkies und Eisenglanz auf. Der Spateisenstein bildet Lager und Stöcke von oft sehr ansehnlicher Ausdehnung zwischen geschichteten Ge-

---

1) Serpentin: wasserhaltige kieselsaure Magnesia (resp. saure kieselsaure Magnesia), feinfaserig, nie in deutlichen Krystallen, sondern nur in Pseudomorphosen nach anderen Mineralien (Olivin, Augit, Hornblende, Granat); grün, gelb, rot, braun, oft gefleckt und geadert (daher der Name von serpens, Schlange — einer Schlangenhaut ähnlich —), durchscheinend bis undurchsichtig.

steinen, tritt aber auch in Form von Gängen auf. Geht unter der Einwirkung von Luft und Wasser allmählich in Brauneisenstein über.

35. Steinkohle enthält, abgesehen von den Aschenbestandteilen, 74—96 % Kohlenstoff, 3—20 % Sauerstoff, 0,5—5 % Wasserstoff, auch ein wenig Stickstoff; amorph, Pflanzentextur selten wahrnehmbar, schwarz, glas- oder fettglänzend, undurchsichtig. Sehr gewöhnlich ist ein Gehalt an Schwefelkies.

36. Steinsalz (s. S. 94).

37. Syenit (eruptiv). Meist mittelkörniges Gemenge von fleischrotem, grauem oder weißem Orthoklas und schwarzer oder grünlich-schwarzer Hornblende. Häufig herrscht der Orthoklas, selten die Hornblende vor, was die Gesamtfarbe des Gesteins bedingt. Manchmal erscheint neben Orthoklas noch Oligoklas, zuweilen treten auch Körnchen von Quarz und Glimmerblättchen hinzu. Dann entsteht wohl ein dem Granit sich näherndes Gestein, welches man als Syenitgranit bezeichnet.

38. Talkschiefer (s. Anm. S. 356) ist ein schieferartiges Aggregat von Talkschuppen, welche ein sehr weiches, fettig anzufühlendes Gestein von weißer bis grünlichweißer Färbung bilden. Als zufällige Gemengteile erscheinen wohl Quarz und Feldspat, Magneteisenerz, Schwefelkies, Granat, Staurolith u. a.

39. Thon ist eine im trockenen Zustande erdige und zerreibliche, in feuchtem Zustande plastische Masse von weißer, grauer, gelblichgrüner, brauner oder blauer Farbe. Die Thone sind wasserhaltige Aluminiumsilikate, welchen Spuren von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia, sowie von Eisen- und Manganhydroxyd beigemengt sind. Sie sind zu betrachten als ein zusammengeschwemmtes Zersetzungsprodukt feldspatreicher Gesteine (vergl. S. 311). Von zufälligen Bestandteilen erwähnen wir nur Krystalle und Krystallgruppen von Schwefelkies, Markasit und Gyps.

40. Die Thonglimmerschiefer (Phyllite) sind äußerst feinkörnig und stellen eine Mittelstufe zwischen dem Glimmerschiefer und dem eigentlichen Thonschiefer, aus dessen Umwandlung sie zweifelsohne hervorgegangen sind, dar. Sie bestehen vorwaltend aus Quarz, Glimmer und meist einem chloritischen Mineral nebst zahlreichen Rutilnädelchen, und zeigen auf den Spaltungsflächen glimmerartigen Glanz. Manchmal beherbergen diese Gesteine noch hexagonale Schüppchen von Eisenoxyd, kleine Dodekaeder von

Granat, Säulchen von Turmalin, manchmal auch Körner von Albit oder Staurolithkrystalle u. a.

41. Thonschiefer (sedimentäres Trümmergestein), hervorgegangen aus dem feinst zerriebenen Schlamme (resp. den Zersetzungsprodukten) älterer Gesteine, besteht hauptsächlich aus Thon mit mikroskopisch kleinen Glimmerschüppchen, Körnchen von Schwefelkies, Quarzkörnchen und Feldspatbruchstückchen, dabei in großer Zahl vorhandenen mikroskopisch kleinen, gelblichbraunen Krystallnadeln, welche sich als Rutil erwiesen haben. Diese Nadeln sind erst während der allmählichen Verfestigung des Gesteins entstanden. Der Thonschiefer ist dicht, ausgezeichnet schieferig und geschichtet, meist grau bis schwarz, aber auch gelb, grün, bräunlich. Die graue bis schwarze Färbung wird durch einen Gehalt an kohliger Substanz hervorgebracht. — Gleichsam in der Mitte zwischen dem Thonschiefer und dem gewöhnlichen Thon steht der Schieferthon, welcher sich von dem Thonschiefer hauptsächlich durch seine geringere Härte unterscheidet.

42. Trachyt (eruptiv) besitzt eine feinkörnige bis dichte, rauhe, etwas poröse Grundmasse von gelblicher, grauer, rötlicher oder weißer Farbe; dieselbe besteht vorwiegend aus Sanidin und Oligoklas und ist entweder quarzfrei (eigentlicher Trachyt) oder quarzhaltig (Quarztrachyt, Rhyolith, Liparit); auch ist vielfach etwas glasige Substanz vorhanden. Die in der Grundmasse enthaltenen Mineralien treten auch als kleinere oder größere Einsprenglinge darin auf, wodurch der Trachyt oft eine porphyrische Struktur erhält. Als accessorische Gemengteile erscheinen namentlich: Hornblende in schwarzen Prismen oder Nadeln, Biotit in Blättchen, Magneteisenerz in Kryställchen und Körnern.

43. Tuffe nennt man meist lockere Trümmergesteine, welche vorwaltend aus feinzerriebenem und umgewandeltem Schutt verschiedener eruptiver Gesteine bestehen und häufig gut ausgebildete Krystalle verschiedener Mineralien einschließen. Nach der Natur des Gesteins, woraus die Tuffe entstanden sind, unterscheidet man z. B. Porphyr-, Trachyt-, Phonolith-, Basalttuff. Bekannt ist der Trass, welcher eine grauliche oder gelbliche, bald erdige, bald dichte Masse darstellt, welche Stückchen von Bimsstein, Trachyt, Thonschiefer, Grauwacke und Lava, auch verkohltes Holz, sowie Krystalle von Sanidin, Hornblende, Augit u. a. einschließt.

REGISTER.

Achsen, krystallographische 17.
Achsen, optische 40.
Achsenbild, optisches 212, 266.
Achsenverhältnis 21.
Achtseitige Prismen 163.
Achtseitige Pyramiden 162.
Achtundvierzigflächner 84.
Adular 342.
Aetzfiguren 30.
Aetzflächen 31.
Affinität 54.
Alabaster 302.
Alaun 120.
Albit 333.
Almandin 108.
Amazonenstein 342.
Amethyst 237.
Amorph 4.
Amphibol 345.
Anatas 170.
Andesit 353.
Anhydrit 263.
Anlegegoniometer 348.
Anomalien, optische 213.
Anorthit 339.
Antimonarsenfahlerz 131.
Antimonfahlerz 131.
Apatit 226.
Apophyllit 169.
Aquamarin 194.
Aragonit 268.
Arsenfahlerz 131.
Asbest 317.
Atherman 48.
Atom 50.
Atomgewichte 50, 53.
Aufgewachsene Krystalle 73.
Augit 342.
Augit, gemeiner 342.
Auslöschungsrichtungen 210.
Außerordentlicher Strahl 39.
Axinit 342.

Basalt 353.
Basen 57.
Basis 23.
Bergkrystall 230.
Berührungszwillinge 80.
Beryll 193.
Bildung der Krystalle 8.
Biotit 349.
Bittersalz 292.
Bleiglanz 95.
Blende 131.
Boracit 136.
Brachydiagonale 252, 330.
Brachydoma 255, 331.
Brachypinakoid 256, 332.
Brachyprisma 254, 331.
Brachypyramide 255, 331.
Brauneisenstein 354.
Braunkohle 354.
Breccie 357.
Brechungsexponent 36.
Brookit 63.
Bruchflächen 28.

Cerussit 276.
Chlorammonium 146.
Chlorit 354.
Chloritschiefer 354.
Chlorkalium 147.
Chlorsaures Natron 155.
Circularpolarisation 250.
Citrin 248.
Cölestin 262.
Cyanit 356.

Dacit 353.
Deltoiddodekaeder 125.
Dendritische Formen 15.
Deuteroprisma 163, 191.
Deuteropyramide 161, 189.
Diabas 354.
Diallag 344.
Diamant 138.
Diamantspat 216.
Diatherman 48.
Dichroismus 47.
Dihexagonale Pyramide 190.
Dimorphismus 62.
Diopsid 344.
Diorit 354.
Dispersion 303.
Dolerit 354.
Dolomit 207.
Doma 253.
Doppelbrechung 37.
Doppelsalze 59.

Drillinge 90.
Durchwachsungszwillinge 89.
Dyakisdodekaeder 112.

Ecken 2.
Einfache Gesteine 352.
Eingesprengt 105.
Eingewachs. Krystalle 72.
Einschlüsse 6.
Eis 355.
Eisenblüte 273.
Eisenglanz 217.
Eisenglimmer 219.
Eisenkies 116.
Eisenkiesel 236.
Eisenrose 218.
Eisenspat 207.
Eisenvitriol 297.
Eisspat 312.
Elastizität des Aethers 42.
Elastizitätsachsen, optische 44.
Elemente, chemische 49, 53.
Enantiomorph 145.
Epidot 322.
Ergänzungszwillinge 130.

Fahlerz 127.
Farbe 45.
Fasergyps 302.
Fassait 313.
Feldspat 305.
Feldspat, gemeiner 312.
Feldspäte, trikline 339.
Flächen 2.
Flächenbeschaffenheit 4.
Flächenzeichnung 5.
Fluorescenz 46.
Flussspat 91.
Formel, chemische 54.
Fortwachsungen 15.

Gabbro 355.
Gedrehte Dispersion 303.
Gelbbleierz 186.
Gemengte Gesteine 353.
Gemengteile der Gesteine 353.
Geneigte Dispersion 303.
Gestein 71.
Glanz 44.
Glaserit 277.
Glaskopf, roter 219.
Gleitflächen 27.
Glimmer 317.
Glimmerschiefer 355.
Gneiß 355.
Gold 103.
Goniometer 348.
Grammatit 317.
Granat 107.
Granatoeder 107.
Granit 355.
Granitit 356.
Granulit 356.
Grauspießglanzerz 260.
Grauwacke 356.
Grossular 109.
Grundform 160.
Gyps 298.

Härte 28.
Härtekurve 30.
Härteskala 29.
Harmotom 324.
Hauptachse 19, 158.
Hauptschnitt, krystallographischer 160.
Hauptschnitt, optischer 42.
Haupt-Symmetrieebene 160, 188.
Hauyn 357.
Hemidoma 297, 331.
Hemiedrie 111.
Hemimorphie 219.
Hemimorphit 291.
Hemiprisma 331.
Hemipyramide 295.
Hessonit 109.
Heteromorphismus 61.
Hexaeder 80.
Hexagonales System 188.
Hexakisoktaeder 84.
Hexakistetraeder 123.
Holoedrisch 111.
Hornblende 315.
Hornblende, basaltische 316.
Hornblende, gemeine 317.
Hornblendeschiefer 356.
Horizontale Dispersion 303.

Ichthyophthalm 169.
Ikositetraeder 82.
Indices 344.
Interferenzfarben 210.
Isodimorph 67.
Isomorphe Mischungen 67.
Isomorphismus 65.
Isotrimorph 67.
Itacolumit 356.

Kalialaun 120.
Kalifeldspat 305.
Kaliglimmer 319.
Kali, schwefelsaures 277.
Kalkfeldspat 339.
Kalknatronfeldspat 340.
Kalkspat 200.
Kalkstein 206, 356.
Kammkies 281.
Kanten 2.
Kaolin 311.
Kieselschiefer 356.
Kieselzinkerz 291.
Klinodiagonale 294.
Klinodoma 297.
Klinopinakoid 298.
Klinoprisma 297.
Klinopyramide 296.
Knistersalz 95.
Kobaltglanz 120.
Kochsalz 94.
Kohäsion 25.
Kombination 24.
Kombinationskante 85.
Konglomerat 356.

Korund 215.
Krystall 2.
Krystalldruse 73.
Krystallinisch 9.
Krystallisationsmikroskop 63.
Krystallskelet 15.
Krystallsysteme 17.
Krystallwasser 59.
Kupfer 98.
Kupferblüte 149.
Kupferkies 180.
Kupfervitriol 332.

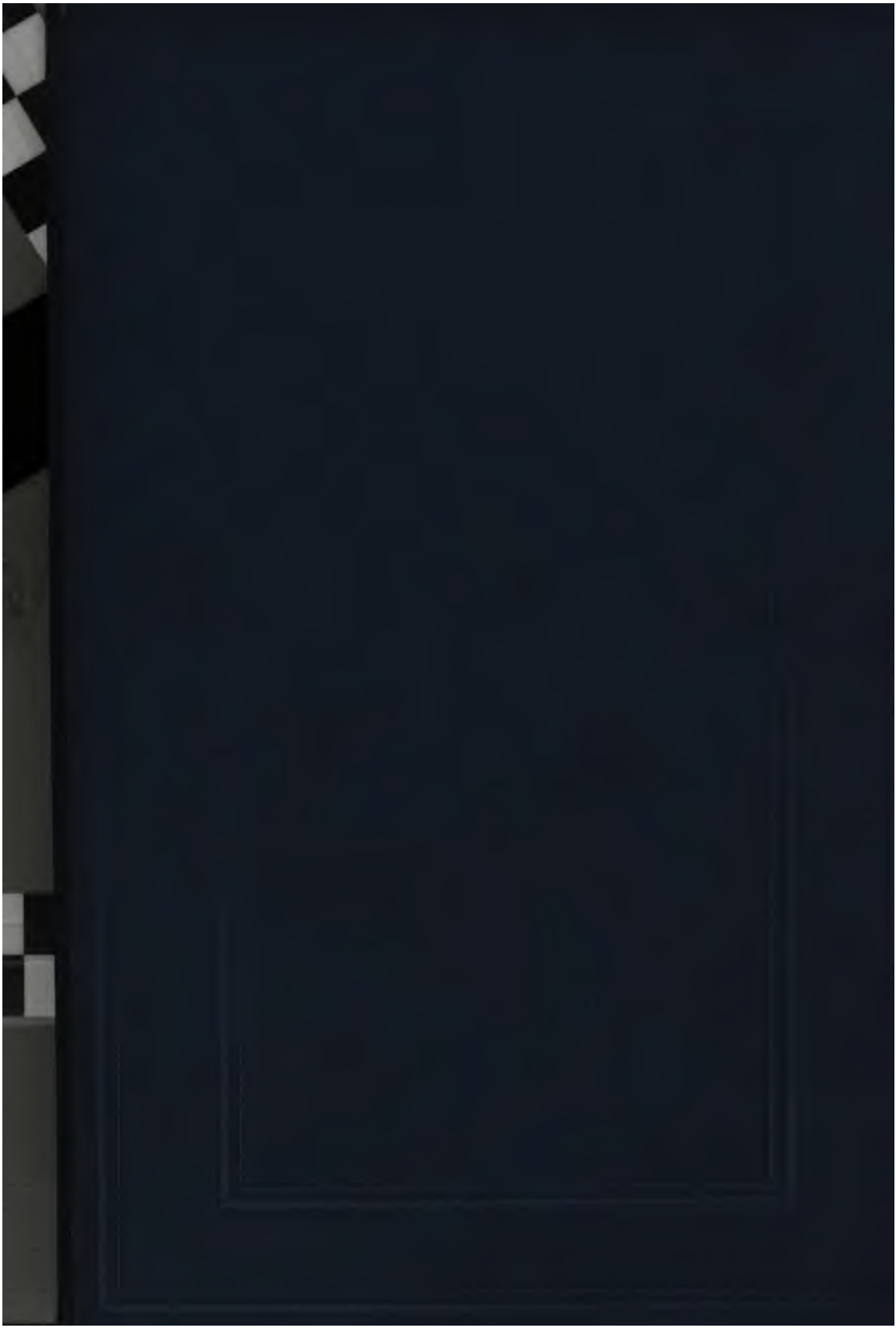
Labradorit 340.
Lava 357.
Lepidolith 320.
Leucit 287.
Leucitoeder 288.
Liparit 360.
Lithionglimmer 320.

Magnesiaglimmer 319.
Magnesit 207.
Magneteisenerz 353.
Magneteisenstein 357.
Makrodiagonale 252, 330.
Makrodoma 255, 331.
Makropinakoid 256, 332.
Makroprisma 254, 331.
Makropyramide 254, 331.
Malachit 149.
Manganspat 207.
Markasit 280.
Marmor 206.
Melanit 109.
Melaphyr 357.
Melilith 354.
Mergel 356.
Messung der Krystalle 347.
Mikroklin 341.
Miller'sche Symbole 345.
Mimetesit 229.
Mimetische Krystalle 279.
Mondstein 312.
Monoklines System 294.
Morion 239.
Moroxit 228.
Morphotropie 68.
Muscovit 319.

Natronfeldspat 334.
Natronkalkfeldspat 340.
Naumann'sche Symbole 79.
Negativ, optisch 40.
Nephelin 353.
Nicol'sches Prisma 207.

Oktaeder 78.
Oligoklas 340.
Olivin 353.
Orthodiagonale 294.
Orthodoma 297.
Orthoklas 305.
Orthopinakoid 298.
Orthoprisma 297.

Paragonitschiefer 357.
Parameter 18.
Pegmatit 356.
Pentagondodekaeder 113.
Pentagondodekaeder, tetraedrisches 152.
Pentagondodekaedrische Hemiedrie 111.
Pentagon-Ikositetraeder 145.
Periklin 337.
Phillipsit 327.
Phyllit 360.
Phonolith 357.
Pistazit 322.
Plagiedrische Hemiedrie 144.
Plagioklase 339.
Pleochroismus (Trichroismus) 47.
Polarisiertes Licht 42.
Polarisationsmikroskop 209.
Porphyr 357.
Porzellanerde 311.
Positiv, optisch 40.
Prisma, achtseitiges 163.
Prisma, dihexagonales 192.
Prisma, hexagonales 189.
Prisma, quadratisches 162.
Prisma, rhombisches 253.
Pseudomorphosen 69.
Pyramide, achtseitige 162.
Pyramide, hexagonale 188.
Pyramide, monokline 295.
Pyramide, quadratische 159.
Pyramide, rhombische 253.
Pyramidenoktaeder 82.
Pyramidentetraeder 125.
Pyramidenwürfel 83.
Pyrit 116.
Pyritoeder 114.
Pyritoedrische Hemiedrie 111.
Pyromorphit 229.
Pyrop 108.
Pyroxen 312.

Quadratisches System 158.
Quarz 235.
Quarzit 358.

Rationale Achsenschnitte 23.
Rauchtopas 239.
Reflexionsgoniometer 349.
Reguläres System 77.
Rhombendodekaeder 80.
Rhombisches System 252.
Rhomboeder 196.
Rhomboedrische Hemiedrie 195.
Rhomboedrische Tetartoedrie 232.
Rhyolith 360.
Roteisenerz 219.
Roteisenstein 358.
Rotkupfererz 148.
Rubin 216.
Rutil 171.